

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-330532

(43)Date of publication of application : 30.11.1999

(51)Int.Cl.

H01L 31/10

(21)Application number : 10-201245

(71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 01.07.1998

(72)Inventor : KITAMURA SHOJIRO
KAWASE TAKEO
KANEKO TAKEO

(30)Priority

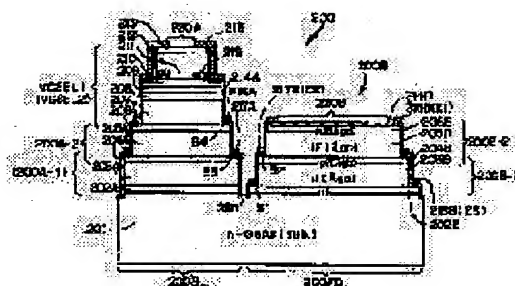
Priority number : 10 60154 Priority date : 11.03.1998 Priority country : JP

(54) MONOLITHIC LIGHT RECEIVING AND EMITTING ELEMENT AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a monolithic light receiving and emitting element which can transmit and receive an optical signal where wavelength is divided and multiplexed with a single element, and an optical communication system capable of bidirectional wavelength-divided and -multiplexed optical communication, using this light receiving and emitting element.

SOLUTION: A photo diode formation region 200FD and a face light emitting laser formation region 200SL are included in a high-resistance semiconductor substrate 201, and these photo diode formation region and the face light emitting laser formation region are electrically separated, and a photo diode 200B has first and second pin-type photo diodes 200B-1 and 200B-2, which have different band widths of light absorbing layers, in a stack which has a plurality of semiconductor layers stacked on an n-type semiconductor substrate 201. The diodes are stacked by priority of smaller band width from the side of the semiconductor substrate 201, and a light receiving part 220B is made on the side of the diode 200B-2 which has a light absorbing layer larger in band width, and this diode 200B can electrically convert two different wavelengths of lights.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-330532

(43) 公開日 平成11年(1999)11月30日

(51) Int.Cl.⁹
H 0 1 L 31/10

識別記号

F I
H 0 1 L 31/10

A

審査請求 未請求 請求項の数12 F D (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平10-201245

(22) 出願日 平成10年(1998)7月1日

(31) 優先権主張番号 特願平10-60154

(32) 優先日 平10(1998)3月11日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72) 発明者 北村 昇二郎

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72) 発明者 川瀬 健夫

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72) 発明者 金子 丈夫

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

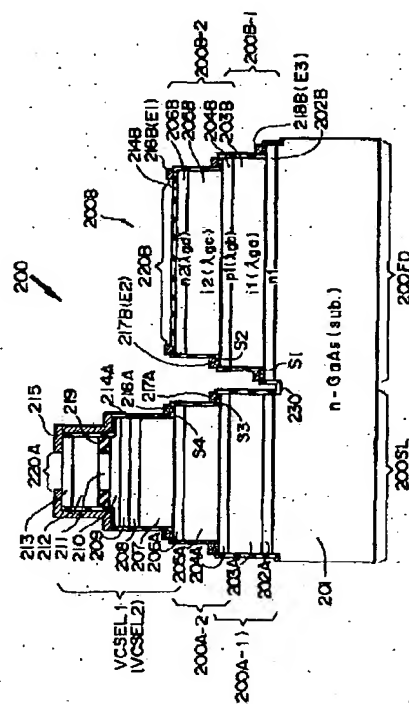
(74) 代理人 弁理士 井上 一 (外2名)

(54) 【発明の名称】 モノリシック受発光素子および光通信システム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 単一の素子で波長分割多重された光信号を送受信できるモノリシック受発光素子、およびこの受発光素子を用い、双方向の波長分割多重光通信が可能な光通信システムを提供する。

【解決手段】 高抵抗の半導体基板201上にフォトダイオード形成領域200FDと、面発光レーザ形成領域200SLとが含まれ、これらのフォトダイオード形成領域と面発光レーザ形成領域とは電気的に分離され、フォトダイオード200Bは、n型半導体基板201上に積層された複数の半導体層を有する堆積体に、異なるバンド幅の光吸収層を有する第1および第2のpin型フォトダイオード200B-1、200B-2を有する。ダイオードは、半導体基板201の側からバンド幅の小さい順に積層され、受光部220Bは、バンド幅がより大きい光吸収層を有するダイオード200B-2の側に形成され、このダイオード200Bは、2つの異なる波長の光を電気変換できる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 高抵抗の半導体基板上に、フォトダイオードが形成されるフォトダイオード形成領域と、少なくとも面発光レーザが形成される面発光レーザ形成領域とが含まれ、前記フォトダイオード形成領域と前記面発光レーザ形成領域とは電氣的に分離され、

前記フォトダイオードは、

前記半導体基板上に積層された複数の半導体層を有する堆積体に、異なるバンド幅の光吸収層を有する複数の p i n 型フォトダイオードを含み、

前記 p i n 型フォトダイオードは、前記半導体基板の側から前記光吸収層のバンド幅の小さい順に積層され、かつ、

受光部は、バンド幅が最も大きい光吸収層を有する p i n 型フォトダイオードの側に形成され、

複数の異なる波長の光を光-電気変換できる、モノリシック受発光素子。

【請求項 2】 請求項 1 において、

前記面発光レーザ形成領域は、前記フォトダイオードを構成する複数の半導体層を有する堆積体と同時に成膜される堆積体を有し、該堆積体より上に垂直共振器型の面発光レーザが形成され、前記堆積体に含まれるいずれかの p i n 型フォトダイオードによって前記面発光レーザの出射光量が検出できる、モノリシック受発光素子。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 において、

前記フォトダイオードは、隣接する第 1 および第 2 の p i n 型フォトダイオードからなる 1 組のフォトダイオードを含み、

前記第 1 の p i n 型フォトダイオードおよび前記第 2 の p i n 型フォトダイオードは、それぞれの同一導電型のコンタクト層が単一のコンタクト層で共用される、モノリシック受発光素子。

【請求項 4】 請求項 3 において、

前記半導体基板上に、第 1 導電型の第 1 のコンタクト層と、第 1 の光吸収層と、第 2 導電型の第 2 のコンタクト層と、第 2 の光吸収層と、第 1 導電型の第 3 のコンタクト層とがこの順に積層され、

前記第 1 の p i n 型フォトダイオードは、前記第 1 のコンタクト層と、前記第 1 の光吸収層と、前記第 2 のコンタクト層とから構成され、

前記第 2 の p i n 型フォトダイオードは、前記第 2 のコンタクト層と、前記第 2 の光吸収層と、前記第 3 のコンタクト層とから構成され、

前記第 1 の光吸収層、前記第 2 のコンタクト層、前記第 2 の光吸収層および前記第 3 のコンタクト層のバンド幅のエネルギーに相当する波長をそれぞれ λ_{ga} 、 λ_{gb} 、 λ_{gc} および λ_{gd} としたとき、

$\lambda_{gd} < \lambda_{gc} < \lambda_{ga}$ 、かつ、

$\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$ 、

である、モノリシック受発光素子。

【請求項 5】 請求項 1 において、

請求項 3 に記載の前記 1 組のフォトダイオードが、絶縁層の両側にそれぞれ設けられ、4 つの p i n 型フォトダイオードが含まれる、モノリシック受発光素子

【請求項 6】 請求項 5 において、

前記半導体基板上に、第 1 導電型の第 1 のコンタクト層と、第 1 の光吸収層と、第 2 導電型の第 2 のコンタクト層と、第 2 の光吸収層と、第 1 導電型の第 3 のコンタクト層と、絶縁層と、第 1 導電型の第 4 のコンタクト層と、第 3 の光吸収層と、第 2 導電型の第 5 のコンタクト層と、第 4 の光吸収層と、第 1 導電型の第 6 のコンタクト層がこの順に積層され、

第 1 の p i n 型フォトダイオードは、前記第 1 のコンタクト層と、前記第 1 の光吸収層と、前記第 2 のコンタクト層とから構成され、

第 2 の p i n 型フォトダイオードは、前記第 2 のコンタクト層と、前記第 2 の光吸収層と、前記第 3 のコンタクト層とから構成され、

第 3 の p i n 型フォトダイオードは、前記第 4 のコンタクト層と、前記第 3 の光吸収層と、前記第 5 のコンタクト層とから構成され、

第 4 の p i n 型フォトダイオードは、前記第 5 のコンタクト層と、前記第 4 の光吸収層と、前記第 6 のコンタクト層とから構成され、

前記第 1 の光吸収層、前記第 2 のコンタクト層、前記第 2 の光吸収層、前記第 3 のコンタクト層、前記絶縁層、前記第 4 のコンタクト層、前記第 3 の光吸収層、前記第 5 のコンタクト層、前記第 4 の光吸収層および前記第 6 のコンタクト層のバンド幅のエネルギーに相当する波長を、それぞれ λ_{ga} 、 λ_{gb} 、 λ_{gc} 、 λ_{gd} 、 λ_{ge} 、 λ_{gf} 、 λ_{gg} 、 λ_{gh} 、 λ_{gi} 、および λ_{gj} としたとき、

$\lambda_{gj} < \lambda_{gi} < \lambda_{gg} < \lambda_{gc} < \lambda_{ga}$ 、

$\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$ 、

$\lambda_{gd} \leq \lambda_{ge} \leq \lambda_{gf} \leq \lambda_{gg}$ 、かつ、

$\lambda_{gh} \leq \lambda_{gi}$ 、

であるモノリシック受発光素子。

【請求項 7】 請求項 1 において、

各 p i n 型フォトダイオードの相互間は、絶縁層によってそれぞれ電氣的に分離されているモノリシック受発光素子。

【請求項 8】 請求項 1 ～請求項 7 のいずれかに記載のモノリシック受発光素子を含み、複数の異なる波長の光を出射および検出できる第 1 の受発光素子と、光導波路と、

請求項 1 ～請求項 7 のいずれかに記載のモノリシック受発光素子を含み、少なくとも前記第 1 の受発光素子で出射および検出できる複数の異なる波長の光を出射および検出できる第 2 の受発光素子とが含まれ、

前記第 1 の受発光素子と第 2 の受発光素子とが光導波路によって直接的に光学接続された、双方向波長分割多重

光通信のための光通信システム。

【請求項 9】 請求項 8 において、前記受発光素子は、請求項 1～請求項 7 のいずれかに記載のモノリシック受発光素子を複数配置して構成された光通信システム。

【請求項 10】 請求項 8 において、前記受発光素子は、請求項 1～請求項 7 のいずれかに記載のモノリシック受発光素子と、面発光レーザを含む発光素子とを組み合わせる構成された光通信システム。

【請求項 11】 請求項 8～請求項 10 のいずれかにおいて、前記光導波路は、光ファイバである光通信システム。

【請求項 12】 請求項 8～請求項 11 のいずれかにおいて、前記第 1 および第 2 の受発光素子を構成する前記面発光レーザの出射口および前記フォトダイオードの受光面と、前記光導波路の光伝送部とが、それぞれ光学的に対向するように配置されている光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、双方向波長分割多重光通信に用いるのに適したモノリシック受発光素子およびこれを用いた光通信システムに関するものである。

【0002】

【背景技術】近年、高速、大容量の通信が可能な双方向波長分割多重光通信が注目されている。この双方向波長分割多重光通信の従来技術の一例を図 13 に示す。

【0003】図 13 においては、2つの波長の光を用いた双方向波長分割多重光通信を示す。この例では、発光素子として、半導体レーザ 1 (波長 λ_1) および 6 (波長 λ_2) が用いられ、受光素子として波長 λ_1 および λ_2 をそれぞれ検出可能なフォトダイオード 5 および 8 が用いられている。そして、一方の側に半導体レーザ 1 およびフォトダイオード 8 を設け、他方の側に半導体レーザ 6 およびフォトダイオード 5 を設ける。半導体レーザ 1 およびフォトダイオード 8 は、分波器 2 を介して光ファイバ 3 に接続される。また、半導体レーザ 6 およびフォトダイオード 5 は、分波器 4 を介して光ファイバ 3 と接続される。そして、この光通信システムにおいては、発光および受光を同時に行うことによって、波長の異なる 2つの光を用いて双方向波長分割多重光通信を行うことができる。

【0004】しかし、この光通信システムにおいては、複数の波長成分の信号光を送信および受信するためには、成分光に応じた数の個別の半導体レーザおよびフォトダイオードを必要とし、また、光を分波するための分波器が必要となるため、光回路が複雑になるという問題を有している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明はこのような課

題を解決するものであり、その目的とするところは、単一の素子で波長分割多重された光信号を送信および受信することができるモノリシック受発光素子を提供することにある。

【0006】本発明の他の目的は、本発明に係るモノリシック受発光素子を用い、分波器などの光部品を要せず、極めてシンプルな光回路によって双方向の波長分割多重光通信が可能な光通信システムを提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明に係るモノリシック受発光素子は、高抵抗の半導体基板上に、フォトダイオードが形成されるフォトダイオード形成領域と、少なくとも面発光レーザが形成される面発光レーザ形成領域とが含まれ、前記フォトダイオード形成領域と前記面発光レーザ形成領域とは電気的に分離され、前記フォトダイオードは、前記半導体基板上に積層された複数の半導体層を有する堆積体に、異なるバンド幅の光吸収層を有する複数の p i n 型フォトダイオードを含み、前記 p i n 型フォトダイオードは、前記半導体基板の側から前記光吸収層のバンド幅の小さい順に積層され、かつ、受光部は、バンド幅が最も大きい光吸収層を有する p i n 型フォトダイオードの側に形成され、複数の異なる波長の光を光-電気変換できる。

【0008】本発明のモノリシック受発光素子のフォトダイオードによれば、半導体基板上に異なるバンド幅の光吸収層を有する複数の p i n 型フォトダイオードが積層され、その積層の順序が前記半導体基板の側から前記光吸収層のバンド幅の小さい順であり、かつバンド幅が最も大きい光吸収層を有する p i n 型フォトダイオードの側から光が入射されることにより、異なる波長を有する複数の光を検出することができる。

【0009】例えば、半導体基板から順に n 層の異なるバンド幅の光吸収層を有する場合、第 n 層目の光吸収層のバンド幅のエネルギーに相当する波長よりも短い波長の光はこの第 n 層目の光吸収層に吸収され、第 n 層目の光吸収層のバンド幅のエネルギーに相当する波長よりも長い波長で、かつ第 n-1 層目の光吸収層のバンド幅のエネルギーに相当する波長よりも短い光は第 n-1 層目の光吸収層に吸収される。そして、第 n-2 層目、・・・、第 1 層目でも順次同様の光吸収が行われる。その結果、単一のフォトダイオードによって、n の異なる波長の光をそれぞれ個別に検出することができる。

【0010】また、本発明のモノリシック受発光素子は、少なくとも面発光レーザを有するので、前記フォトダイオードによる光の検出と共に、特定波長の光の出射が可能である。また、発光部として面発光レーザを用いることにより、モノリシック受発光素子同士、あるいはモノリシック受発光素子と発光素子とを近接させて 2 次元的に配置することが容易である。

【0011】前記面発光レーザ形成領域は、前記フォトダイオードを構成する複数の半導体層を有する堆積体と同時に成膜される堆積体を有し、該堆積体より上に垂直共振器型の面発光レーザが形成され、前記堆積体に含まれるいずれかのpin型フォトダイオードによって前記面発光レーザの出射光量が検出できることが望ましい。

【0012】垂直共振器型の面発光レーザはレーザ光の出射方向が半導体基板に対して垂直であるため、フォトダイオードとのモノリシック化が容易である。さらに、フォトダイオードを構成する堆積体より上に垂直共振器型の面発光レーザを重ねた構造を有することにより、面発光レーザの直下にあるいずれかのpin型フォトダイオード（面発光レーザの出射光が吸収される光吸収層を有するpin型フォトダイオード）によってレーザ光の光量をモニタすることができる。その結果、極めて簡単な構成によって、垂直共振器型の面発光レーザのAPC（Auto Power Control）が可能である。

【0013】前記フォトダイオードにおいて、隣接する第1および第2のpin型フォトダイオードからなる1組のフォトダイオードが含まれ、前記第1のpin型フォトダイオードおよび前記第2のpin型フォトダイオードは、それぞれの同一導電型のコンタクト層が単一のコンタクト層で共用されることが望ましい。このように、2つのpin型フォトダイオードのコンタクト層を共用することにより、半導体層の数を減ずることができ、デバイスを小さくできるだけでなく、製造プロセスの工程数を少なくすることができる。

【0014】フォトダイオードを構成するpin型フォトダイオードの数は、2以上であり、製造プロセス上の制約を考慮すると、2～4が望ましい。

【0015】(a) pin型フォトダイオードの数が2つのフォトダイオードにおいては、以下の層構造を有することが望ましい。

【0016】このフォトダイオードは、前記半導体基板上に、第1導電型の第1のコンタクト層と、第1の光吸収層と、第2導電型の第2のコンタクト層と、第2の光吸収層と、第1導電型の第3のコンタクト層とがこの順に積層され、前記第1のpin型フォトダイオードは、前記第1のコンタクト層と、前記第1の光吸収層と、前記第2のコンタクト層とから構成され、前記第2のpin型フォトダイオードは、前記第2のコンタクト層と、前記第2の光吸収層と、前記第3のコンタクト層とから構成され、前記第1の光吸収層、前記第1のコンタクト層、前記第2の光吸収層および前記第2のコンタクト層のバンド幅のエネルギーに相当する波長をそれぞれ λ_{ga} 、 λ_{gb} 、 λ_{gc} および λ_{gd} としたとき、 $\lambda_{gd} < \lambda_{gc} < \lambda_{ga}$ 、かつ、 $\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$ 、である。

【0017】(b) pin型フォトダイオードの数が4つのフォトダイオードにおいては、以下の層構造を有

することが望ましい。

【0018】このフォトダイオードは、前記1組のフォトダイオードが、絶縁層の両側にそれぞれ設けられ、4つのpin型フォトダイオードが含まれる。そして、2組のフォトダイオードは、前記絶縁層によって電氣的に分離される。

【0019】このフォトダイオードは、さらに以下の層構造を有することが望ましい。

【0020】フォトダイオードは、高抵抗の半導体基板上に、第1導電型の第1のコンタクト層と、第1の光吸収層と、第2導電型の第2のコンタクト層と、第2の光吸収層と、第1導電型の第3のコンタクト層と、絶縁層と、第1導電型の第4のコンタクト層と、第3の光吸収層と、第2導電型の第5のコンタクト層と、第4の光吸収層と、第1導電型の第6のコンタクト層がこの順に積層され、第1のpin型フォトダイオードは、前記第1のコンタクト層と、前記第1の光吸収層と、前記第2のコンタクト層とから構成され、第2のpin型フォトダイオードは、前記第2のコンタクト層と、前記第2の光吸収層と、前記第3のコンタクト層とから構成され、第3のpin型フォトダイオードは、前記第4のコンタクト層と、前記第3の光吸収層と、前記第5のコンタクト層とから構成され、第4のpin型フォトダイオードは、前記第5のコンタクト層と、前記第4の光吸収層と、前記第6のコンタクト層とから構成され、前記第1の光吸収層、前記第2のコンタクト層、前記第2の光吸収層、前記第3のコンタクト層、前記絶縁層、前記第4のコンタクト層、前記第3の光吸収層、前記第5のコンタクト層、前記第4の光吸収層および前記第6のコンタクト層のバンド幅のエネルギーに相当する波長を、それぞれ λ_{ga} 、 λ_{gb} 、 λ_{gc} 、 λ_{gd} 、 λ_{ge} 、 λ_{gf} 、 λ_{gg} 、 λ_{gh} 、 λ_{gi} 、および λ_{gj} としたとき、 $\lambda_{gj} < \lambda_{gi} < \lambda_{gg} < \lambda_{gc} < \lambda_{ga}$ 、 $\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$ 、 $\lambda_{gd} \leq \lambda_{ge} \leq \lambda_{gf} \leq \lambda_{gg}$ 、かつ、 $\lambda_{gh} \leq \lambda_{gi}$ 、である。

【0021】(c) pin型フォトダイオードの数が3つのフォトダイオードにおいては、上述した4つのpin型フォトダイオードのうち、第1あるいは第4のpin型フォトダイオードを有さない構造とすることができる。

【0022】また、本発明に係るフォトダイオードは、各pin型フォトダイオードの相互間が、絶縁層によってそれぞれ電氣的に分離されている構造をとることもできる。このフォトダイオードによれば、各pin型フォトダイオードを個別に制御できる。

【0023】本発明に係る光通信システムは、請求項1～請求項7のいずれかに記載のモノリシック受発光素子を含み、複数の異なる波長の光を出射および検出できる第1の受発光素子と、光導波路と、請求項1～請求項7のいずれかに記載のモノリシック受発光素子を含み、少なくとも前記第1の受発光素子で出射および検出できる

複数の異なる波長の光を射出および検出できる第2の受発光素子とが含まれ、前記第1の受発光素子と第2の受発光素子とが光導波路によって直接的に光学接続され、双方向波長分割多重光通信に好適である。

【0024】この光通信システムによれば、本発明に係るモノリシック受発光素子を含む2つの受発光素子および光導波路、例えば光ファイバの3者からなるシンプルな構成で、つまり、レンズ、合波器、分波器などの光学部品を必要としない構成で、双方向波長分割多重光通信システムを構成することができる。

【0025】そして、前記第1および第2の受発光素子を構成する前記面発光レーザの出射口および前記フォトダイオードの受光面と、前記光導波路の光伝送部とが、それぞれ光学的に直接結合されることにより、従来の光通信システムのように、分波器などの光学部品を必要としない。その結果、構成がシンプルで、かつ、光学調整が容易で、低コストな双方向波長分割多重伝送が可能な光通信システムを構成することができる。

【0026】前記受発光素子は、請求項1～請求項7のいずれかに記載のモノリシック受発光素子を複数配置して構成することができる。また、前記受発光素子は、請求項1～請求項7のいずれかに記載のモノリシック受発光素子と、面発光レーザを含む発光素子とを組み合わせ

て構成することができる。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。

【0028】（実施の形態1）

（デバイス構造）図1は、本発明の一実施の形態に係るモノリシック受発光素子200の断面を模式的に示す図

である。

【0029】モノリシック受発光素子200は、同一の半導体基板201上に、フォトダイオード200Bが形成されるフォトダイオード形成領域200FDと、垂直共振器型の面発光レーザVCSEL1が形成される面発光レーザ形成領域200SLとを有する。そして、フォトダイオード形成領域200FDと面発光レーザ形成領域200SLとは、前記半導体基板201に形成された分離溝230によって電氣的に分離されている。

【0030】（フォトダイオード）フォトダイオード形成領域200FDに形成されたフォトダイオード200Bは、GaAsからなる高抵抗の半導体基板201上に、n型Al_xGa_{1-x}Asからなるn型コンタクト層202B、i型Al_aGa_{1-a}Asからなる第1の光吸収層203B、p型Al_bGa_{1-b}Asからなるp型コンタクト層204B、i型Al_cGa_{1-c}Asからなる第2の光吸収層205Bおよびn型Al_dGa_{1-d}Asのn型コンタクト層206Bが、順次積層されている。そして、第2の光吸収層205Bおよびn型コンタクト層206Bからなる柱状部は、それより下位の第1の光吸収層20

3Bおよびp型コンタクト層204Bからなる柱状部の径より小さい径を有し、p型コンタクト層204Bの表面にステップS2が形成されている。また、n型コンタクト層202Bの表面にも、同様なステップS1が形成されている。

【0031】また、半導体基板201上に形成された複数の半導体層からなる堆積体の周囲には、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜などから構成される誘電体膜214Bが形成されている。この誘電体膜214Bの下端は半導体基板201に到達するように形成されている。また、n型コンタクト層206Bの上面の受光部220Bでは、誘電体膜214Bは入射面を構成するため、少なくとも光学的に透明である。

【0032】さらに、n型コンタクト層206Bの上面には、受光部220Bを囲むようにn型オーミック電極216B（E1）が形成され、p型コンタクト層204Bの上面のステップS2にはp型オーミック電極217B（E2）が形成されている。n型コンタクト層202Bの上面のステップS1には、n型オーミック電極218B（E3）が形成されている。

【0033】n型コンタクト層202B、第1の光吸収層203Bおよびp型コンタクト層204Bによって、第1のpin型フォトダイオード200B-1が構成される。p型コンタクト層204B、第2の光吸収層205Bおよびn型コンタクト層206Bによって、第2のpin型フォトダイオード200B-2が構成される。

【0034】ここで、第1の光吸収層203B、p型コンタクト層204B、第2の光吸収層205Bおよびn型コンタクト層206Bの各層のA1の組成割合には、 $0 \leq a < c < d$ かつ $c \leq b$ という関係がある。すなわち、第1の光吸収層203B、p型コンタクト層204B、第2の光吸収層205Bおよびn型コンタクト層206Bの各層のバンド幅のエネルギーに相当する波長を、それぞれ λ_{ga} 、 λ_{gb} 、 λ_{gc} および λ_{gd} とすると、 $\lambda_{gd} < \lambda_{gc} < \lambda_{ga}$ かつ $\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$ という関係になる。

【0035】したがって、受光部220Bから入射する光のうち、波長 λ_{gc} よりも短い波長の光は第2の光吸収層205Bでほぼ吸収される。波長 λ_{gc} よりも長波長でかつ λ_{ga} よりも短い波長の光は第2の光吸収層205Bを透過し、第1の光吸収層203Bで吸収される。

【0036】また、 $\lambda_{gd} < \lambda_{gc}$ とし、n型コンタクト層206Bに窓層としての機能を持たせることにより、表面再結合による量子効率の低下を防いでいる。さらに、 $\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$ としたのは、第2の光吸収層205Bを透過した光が、p型コンタクト層204Bで吸収されずに透過し、効率よく第1の光吸収層203Bで吸収されるようにするためである。

【0037】図5に、フォトダイオード200Bの等価回路を示す。フォトダイオード200Bは、第1のフォトダイオード200B-1と第2のフォトダイオード2

00B-2とが、アノードでp型オーミック電極217B(E2)と共通接続されている。図5において、符号E1およびE3は、n型オーミック電極216Bおよびn型オーミック電極218Bを示す。

【0038】フォトダイオード200Bによれば、異なる2つの波長 λ_1 および λ_2 の光は、2つのフォトダイオード200B-1および200B-2によってそれぞれ電流に変換され、電気信号として出力される。そして、波長 λ_1 と波長 λ_2 ($\lambda_2 < \lambda_1$) の光で波長分割多重光通信を行う場合、 $\lambda_{gc} < \lambda_1 \leq \lambda_{ga}$ かつ $\lambda_{gd} < \lambda_2 \leq \lambda_{gc}$ となるように光源の波長を選択すればよい。

【0039】本実施の形態では、半導体層の組成において、 $a=0$ 、 $b=c=0.07$ 、 $d=0.15$ としたとき、 $\lambda_{ga} \approx 870\text{nm}$ 、 $\lambda_{gb} = \lambda_{gc} \approx 820\text{nm}$ 、 $\lambda_{gd} \approx 770\text{nm}$ であることが確認された。したがって、波長分割多重通信を行う2つの光源の波長を上記式を満たすように、例えば $\lambda_1 = 860\text{nm}$ 、 $\lambda_2 = 810\text{nm}$ と設定することにより、単一のフォトダイオード200Bによって、これらの2つの波長の光を検出することができる。

【0040】(面発光レーザ) 面発光レーザ形成領域200SLは、GaAsからなる高抵抗の半導体基板201上に、前述したフォトダイオード200Bを構成する半導体層の堆積体、すなわち、n型コンタクト層202B、第1の光吸収層203B、p型コンタクト層204B、第2の光吸収層205Bおよびn型コンタクト層206Bと同様の半導体層からなる、n型コンタクト層202A、第1の光吸収層203A、p型コンタクト層204A、第2の光吸収層205Aおよびn型コンタクト層206Aが、順次積層されている。

【0041】さらに、n型コンタクト層206Aより上に、垂直共振器型の面発光レーザVCSEL1が形成されている。面発光レーザVCSEL1は、波長 λ_2 ($=810\text{nm}$) のレーザ光を出射でき、例えば、以下の層構造を有する。

【0042】面発光レーザVCSEL1は、n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Asからなるn型コンタクト層206A、n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Asとn型Al_{0.85}Ga_{0.15}Asを交互に30ペア積層し、波長 λ_2 付近の波長の光に対し99.5%以上の反射率を持つn型分布反射型多層膜ミラー(DBRミラー)207、n型Al_{0.5}Ga_{0.5}Asからなるn型クラッド層208、Al_{0.3}Ga_{0.7}Asバリア層とGaAs量子井戸層からなり、量子井戸層が5層で構成される多重量子井戸構造の活性層209、p型Al_{0.5}Ga_{0.5}Asからなるp型クラッド層210、p型AlAs層211、p型Al_{0.15}Ga_{0.85}Asとp型Al_{0.85}Ga_{0.15}Asを交互に20ペア積層し、波長 λ_2 付近の波長の光に対し98.5~99%の反射率を持つp型DBRミラー212、およびp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Asからなるp型コンタクト層213、が順次エ

タキシャル成長により形成された堆積体からなる。p型AlAs層211には、発光中心付近の注入電流密度を上げるための電流狭窄部219(図において斜線部で示される部分)が選択酸化により形成されている。

【0043】p型クラッド層210の一部、p型AlAs層211、p型DBRミラー212およびp型コンタクト層213からなる柱状部は、それより下位のn型DBRミラー207、n型クラッド層208、活性層209およびp型クラッド層210の一部からなる柱状部の径より小さい径を有し、p型クラッド層210にステップが形成されている。

【0044】また、半導体基板201上に形成された複数の半導体層からなる堆積体の周囲には、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜などから構成される誘電体膜214Aが形成されている。この誘電体膜214Aは、前述したフォトダイオード200Bの誘電体膜214Bと連続して形成されている。そして、面発光レーザVCSEL1の射出口220Aの領域では、誘電体膜が除去されている。

【0045】さらに、p型コンタクト層213の上面には、射出口220Aを囲むようにp型オーミック電極215が形成されている。n型コンタクト層206Aの上面のステップS4にはn型オーミック電極216Aが形成されている。そして、p型コンタクト層204Aの上面のステップS3にはp型オーミック電極217Aが形成されている。

【0046】p型コンタクト層204A、第2の光吸収層205Aおよびn型コンタクト層206Aによって、垂直共振器型の面発光レーザVCSEL1の射出光量をモニタする第3のpin型フォトダイオード200A-2が構成されている。この第3のpin型フォトダイオード200A-2は、その光吸収層205Aのバンド幅のエネルギーに相当する波長 λ_{gc} よりも短い波長 λ_1 の光を吸収し、従って、面発光レーザVCSEL1のDBRミラー207から漏れだした光によって該面発光レーザVCSEL1の射出光量を検出することができる。

【0047】モノリシック受発光素子200において、面発光レーザVCSEL1の代わりに、波長 λ_1 ($=860\text{nm}$) のレーザ光を出射する垂直共振器型の面発光レーザVCSEL2が形成された場合には、n型コンタクト層202A、第1の光吸収層203A、p型コンタクト層204Aからなる第4のpin型フォトダイオード200A-1で面発光レーザVCSEL2の射出光量をモニタすることができる。

【0048】(デバイスの製造工程) 次に、図1に示すモノリシック受発光素子200の製造工程の一例を図2~図4を用いて説明する。

【0049】(a) まず、図2に示すように、GaAsからなる高抵抗半導体基板201上に、n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Asからなるn型コンタクト層202、i型Ga

Asからなる第1の光吸収層203、p型Al_{0.07}Ga_{0.93}Asからなるp型コンタクト層204、i型Al_{0.07}Ga_{0.93}Asからなる第2の光吸収層205、n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Asからなるn型コンタクト層206、n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Asとn型Al_{0.85}Ga_{0.15}Asとを交互に30ペア積層してなるn型DBRミラー207、n型Al_{0.5}Ga_{0.5}Asからなるn型クラッド層208、Al_{0.3}Ga_{0.7}Asからなるバリア層とGaAsからなる量子井戸層とを積層し、量子井戸層が5層で構成される多重量子井戸構造の活性層209、p型Al_{0.5}Ga_{0.5}Asからなるp型クラッド層210、p型AlAs層211、p型Al_{0.15}Ga_{0.85}Asとp型Al_{0.85}Ga_{0.15}Asとを交互に20ペア積層したp型DBRミラー212、およびp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Asからなるp型コンタクト層213、をMOVPE (Metal Organic Vapor Phase Epitaxy) 法によって順次エピタキシャル成長させる。本実施の形態では、エピタキシャル成長にMOVPE法を用いたが、MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法あるいはLPE (Liquid Phase Epitaxy) 法を用いてもよい。

【0050】(b)次に、図3に示すように、常圧熱CVD (Chemical Vapor Deposition) 法によってエピタキシャル成長層上に25nm程度のSiO₂からなる誘電体膜214を形成する。この誘電体膜214によって、エピタキシャル成長層のプロセス中での表面汚染を防いでいる。

【0051】次に、面発光レーザ形成領域200SLに図示しないフォトリソストを形成し、フォトダイオード形成領域200FDにおいてn型コンタクト層206Bが露出するまで反応性イオンビームエッチング(RIBE)法によりエッチングを行う。さらに、所定のパターンを有するフォトリソストをマスクとして、p型コンタクト層204Bが露出するまで、エピタキシャル成長層の上面から見て円形の形状にエッチングして柱状部231を形成する。同様にフォトリソストをマスクとして、n型コンタクト層202Bが露出するまでエッチングして柱状部232を形成する。これらの柱状部231および232の平面形状は、本実施の形態では円形としたが、これに限られるものではない。また、柱状部231および232を形成する順番は逆でもかまわない。

【0052】次に、フォトダイオード形成領域200FDをフォトリソストによってマスクングし、さらに、面発光レーザ形成領域200SLにおいてマスクの形成およびエッチングのプロセスを繰り返すことにより、柱状部233、234、235および236を形成する。さらに、フォトダイオード形成領域200FDと面発光レーザ形成領域200SLとを分離するための分離溝230をエッチングによって形成する。

【0053】そして、各柱状部は上位にいくつれてその

径が小さくなり、柱状部の相互間には電極を形成するためのステップが形成される。

【0054】(c)次に、図4に示すように、フォトリソストを除去し、硫化アンモニウム等によるエッチング断面の処理を行った後、常圧熱CVD法によってエピタキシャル成長層上と各柱状部の側面にSiO₂からなる誘電体膜214をさらに形成する。ここで、柱状部231の上面の部分は受光部220Bとなるため、誘電体膜214は受光部220Bにおいて保護膜と反射防止膜を兼ねるように、受光部220Bでの誘電体膜214の膜厚は、その光学的厚さが光源として使用する光の2波長の平均値のほぼ1/4倍になるように設定される。また、面発光レーザ形成領域200SLにおいては、最上層のp型コンタクト層213の上面は出射口を構成するため、この出射口部分の誘電体膜はエッチングによって除去される。

【0055】(d)次に、図1に示すように、n型コンタクト層206B上の誘電体膜214Bに受光部220Bを囲むリング状コンタクトホールを開けてn型オーミック電極216Bを形成し、同時に、n型コンタクト層206A上の誘電体膜214Aにリング状のコンタクトホールを開けてn型オーミック電極216Aを形成する。さらに、同様にして、p型コンタクト層204Aおよび204BのステップS3およびS2の上面にp型オーミック電極217Aおよび217Bを形成する。さらに、n型コンタクト層202Bが露出するステップS1上にn型オーミック電極218Bを形成する。そして、出射口220Aを取り囲むように、p型オーミック電極215を形成する。

【0056】本実施の形態では、p型コンタクト層204B (p型コンタクト層204A)を第1および第2のpin型フォトダイオード (第3および第4のpin型フォトダイオード)の共通のコンタクト層としている。しかし、各pin型フォトダイオードを独立に動作させたいときは、このコンタクト層の中間に例えば高抵抗のAl_{0.07}Ga_{0.93}Asからなる絶縁層を挿入して、この絶縁層の上下のp型コンタクト層にそれぞれp型コンタクト電極を形成してもよい。

【0057】(デバイスの動作)以上説明したように、本実施の形態のモノリシック受発光素子200は、面発光レーザVCSEL1 (またはVCSEL2)とフォトダイオード200Bとを有する。そして、フォトダイオード200Bは、第1および第2のフォトダイオード200B-1および200B-2を有し、異なる波長の光を単一の素子で検出することができる。また、面発光レーザVCSEL1 (またはVCSEL2)の下部には、前述した第1および第2のpin型フォトダイオード200B-1および200B-2と同様な第3および第4のpin型フォトダイオード200A-2および200A-1を有することから、面発光レーザVCSEL1ま

たはVCSEL2の出射光量を第3または第4のpin型フォトダイオード200A-2または200A-1によってそれぞれモニタすることができる。

【0058】本実施の形態に係るモノリシック受発光素子200によれば、光源として垂直共振器型の面発光レーザを用いるため、個々の素子（面発光レーザおよびフォトダイオード）を近接させて2次的に配置することが容易である。さらに、垂直共振器型の面発光レーザはレーザ光の出射方向が半導体基板に対して垂直であるため、フォトダイオードとのモノリシック化が容易である。さらに、本実施の形態では、フォトダイオードの上に垂直共振器型の面発光レーザを重ねた構造を有することにより、面発光レーザの直下にあるフォトダイオードによってレーザ光の光量をモニタすることができる。その結果、極めて簡単な構成によって、垂直共振器型の面発光レーザのAPC（Auto Power Control）が可能である。

【0059】（実施の形態2）

（デバイス構造）図6は、本発明の一実施の形態に係るモノリシック受発光素子400の平面を模式的に示す図であり、図7は、図6に示すモノリシック受発光素子400のB-B'線に沿った断面を模式的に示す図、図8は、図6に示すモノリシック受発光素子400のA-A'線に沿った断面を模式的に示す図である。

【0060】モノリシック受発光素子400は、4つの異なる波長の光を検出することができるフォトダイオード形成領域400FDと、面発光レーザ形成領域400SLとを有する。

【0061】（フォトダイオード）フォトダイオード形成領域400FDに形成されたフォトダイオード400Bは、図7に示すように、GaAsからなる高抵抗半導体基板401上に、p型GaAsからなるp型コンタクト層402B（p1）、i型Al_{1-a}Ga_{1-a}Asからなる第1の光吸収層403B（i1）、n型Al_bGa_{1-b}Asからなるn型コンタクト層404B（n1）、i型Al_cGa_{1-c}Asからなる第2の光吸収層405B（i2）、p型Al_dGa_{1-d}Asからなるp型コンタクト層406B（p2）、半絶縁性Al_eGa_{1-e}Asからなる絶縁層407B（SI）、p型Al_fGa_{1-f}Asからなるp型コンタクト層408B（p3）、i型Al_gGa_{1-g}Asからなる第3の光吸収層409B（i3）、n型Al_hGa_{1-h}Asからなるn型コンタクト層410B（n2）、i型Al_iGa_{1-i}Asからなる第4の光吸収層411B（i4）、およびp型Al_jGa_{1-j}Asからなるp型コンタクト層412B（p4）が順次積層されている。そして、各コンタクト層402B、404B、406B、408Bおよび410Bの一部が露出するように、ステップがそれぞれ形成されている。図7においては、コンタクト層406Bの上面に形成されたステップSのみを示している。

【0062】また、半導体基板401上に形成された複数の半導体層からなる堆積体の周囲には、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜などから構成される誘電体膜413が形成されている。この誘電体膜413の下端は、半導体基板401に到達するように形成されている。また、p型コンタクト層412Bの上面の受光部420Bでは、誘電体膜413は入射面を構成するため、少なくとも光学的に透明である。

【0063】さらに、半導体基板401上に形成された複数の半導体層からなる堆積体の周囲には、誘電体膜413を介して絶縁性の埋込み層414Bが形成されている。この埋込み層414Bは、例えばポリイミドなどの耐熱性樹脂の他に、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、シリコン炭化膜などを用いることができる。

【0064】さらに、露出する誘電体膜413および埋込み層414Bの上面には、図6に示すように、各コンタクト層402B、404B、406B、408B、410Bおよび412Bに接続されるオーミック電極415Ba~415Bfが所定のパターンで形成されている。各オーミック電極415Ba、415Bb、415Bc、415Beおよび415Bfは、図7に示すように、埋込み層414Bに形成されたコンタクトホール内の導電層（416Bcのみ図示する）を介して、ステップにおいて露出する各コンタクト層402B、404B、406B、408Bおよび410Bと電気的に接続されている。また、オーミック電極415Bdは、誘電体膜413に形成されたコンタクトホール内の導電層416Bdを介してコンタクト層412Bと電気的に接続されている。

【0065】p型コンタクト層402B、第1の光吸収層403Bおよびn型コンタクト層404Bによって第1のpin型フォトダイオード400B-1が構成される。n型コンタクト層404B、第2の光吸収層405Bおよびp型コンタクト層406Bによって第2のpin型フォトダイオード400B-2が構成される。p型コンタクト層408B、第3の光吸収層409Bおよびn型コンタクト層410Bによって第3のpin型フォトダイオード400B-3が構成される。そして、n型コンタクト層410B、第4の光吸収層411Bおよびp型コンタクト層412Bによって、第4のpin型フォトダイオード400B-4が構成される。

【0066】ここで、p型コンタクト層402B、第1の光吸収層403B、n型コンタクト層404B、第2の光吸収層405B、p型コンタクト層406B、絶縁層407B、p型コンタクト層408B、第3の光吸収層409B、n型コンタクト層410B、第4の光吸収層411Bおよびp型コンタクト層412Bの各層のAlの組成割合には、 $a < c < g < i < j$ 、 $c \leq b$ 、 $g \leq f \leq e \leq d$ 、かつ $i \leq h$ という関係がある。

【0067】すなわち、図7に示すように、各半導体層

403B~412Bのバンド幅のエネルギーに相当する波長をそれぞれ $\lambda_{ga} \sim \lambda_{gj}$ とすると、 $\lambda_{gj} < \lambda_{gi} < \lambda_{gg} < \lambda_{gc} < \lambda_{ga}$ 、 $\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$ 、 $\lambda_{gd} \leq \lambda_{ge} \leq \lambda_{gf} \leq \lambda_{gg}$ 、かつ、 $\lambda_{gh} \leq \lambda_{gi}$ という関係が成立する。

【0068】光の透過原理は前述した実施の形態1と同様である。具体的には、受光部420Bから入射する光のうち、波長 λ_{gi} よりも短い波長の光は第4の光吸収層411Bではば吸収される。波長 λ_{gi} よりも長波長でかつ λ_{gg} よりも短い波長の光は第4の光吸収層411Bを透過し、第3の光吸収層409Bで吸収される。さらに、波長 λ_{gg} よりも長波長でかつ波長 λ_{gc} よりも短い波長の光は、第4の光吸収層411Bおよび第3の光吸収層409Bを透過し、第2の光吸収層405Bではば吸収される。波長 λ_{gc} よりも長波長でかつ λ_{ga} よりも短い波長の光は、第4の光吸収層411B、第3の光吸収層409Bおよび第2の光吸収層405Bを透過し、第1の光吸収層403Bで吸収される。

【0069】また、 $\lambda_{gj} < \lambda_{gi}$ とし、p型コンタクト層412Bに窓層としての機能を持たせることにより、表面再結合による量子効率の低下を防いでいる。さらに、 $\lambda_{gh} \leq \lambda_{gi}$ としたのは、第4の光吸収層411Bを透過した光が、n型コンタクト層410Bで吸収されずに透過し、効率よく第3の光吸収層409Bで吸収されるようにするためである。 $\lambda_{gd} \leq \lambda_{ge} \leq \lambda_{gf} \leq \lambda_{gg}$ 、および $\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$ としたのも、同様の理由による。

【0070】本実施の形態に係るフォトダイオード400Bは、第1のフォトダイオード400B-1と第2のフォトダイオード400B-2とが、カソードでn型オーミック電極に共通接続され、かつ、第3のフォトダイオード400B-3と第4のフォトダイオード400B-4とが、カソードでn型オーミック電極に共通接続されている。そして、フォトダイオード400Bにおいては、絶縁層407Bで分離される上下の2組のフォトダイオード、すなわちpin型フォトダイオード400B-1と400B-2との組み合わせ、並びにpin型フォトダイオード400B-3と400B-4との組み合わせにおいて、各組み合わせのpin構造の順序が同一であるため、全てのpin型フォトダイオードに対して同一極性の逆バイアスを印加することができる利点を有する。

【0071】このように、フォトダイオード400Bによれば、異なる4つ波長の光を同一基板に形成された4つのpin型フォトダイオード400B-1~400B-4によって、それぞれ光-電流変換することができる。そして、波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 および λ_4 ($\lambda_4 < \lambda_3 < \lambda_2 < \lambda_1$)の光で波長分割多重光通信を行う場合、 $\lambda_{gj} < \lambda_4 \leq \lambda_{gi}$ 、 $\lambda_{gi} < \lambda_3 \leq \lambda_{gg}$ 、 $\lambda_{gg} < \lambda_2 \leq \lambda_{gc}$ かつ、 $\lambda_{gc} < \lambda_1 \leq \lambda_{ga}$ 、となるように光源の波長を選択すればよい。

【0072】本実施の形態では、半導体層の組成におい

て、 $a=0$ 、 $b=c=0$ 、 0.42 、 $d=e=f=g=0.085$ 、 $h=i=0.133$ 、および $j=0.184$ としたとき、

$$\lambda_{ga} \doteq 870 \text{ nm}$$

$$\lambda_{gb} = \lambda_{gc} \doteq 840 \text{ nm}$$

$$\lambda_{gd} = \lambda_{ge} = \lambda_{gf} = \lambda_{gg} \doteq 810 \text{ nm}$$

$$\lambda_{gh} = \lambda_{gi} \doteq 780 \text{ nm}$$

$$\lambda_{gj} \doteq 750 \text{ nm}$$

であることを確認した。したがって、波長分割多重通信を行う4つ光源の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ を上記式を満たすように、例えば、 $\lambda_1=870 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2=840 \text{ nm}$ 、 $\lambda_3=810 \text{ nm}$ および $\lambda_4=780 \text{ nm}$ と設定することにより、単一のフォトダイオード400Bによって、これらの4波長の光を検出することができる。

【0073】(面発光レーザ) 面発光レーザ形成領域400SLには、図8に示すように、前述したフォトダイオード形成領域400FDの半導体層402B~412Bと同じ成膜工程で形成された半導体層の堆積体の上に面発光レーザVCSELが形成されている。

【0074】すなわち、面発光レーザ形成領域400SLでは、高抵抗半導体基板401上に、p型コンタクト層402A、第1の光吸収層403A、n型コンタクト層404A、第2の光吸収層405A、p型コンタクト層406A、絶縁層407A、p型コンタクト層408A、第3の光吸収層409A、n型コンタクト層410A、第4の光吸収層411A、およびp型コンタクト層412Aが形成されている。図8では、半導体層403A~407Aの図示を省略している。

【0075】さらに、p型コンタクト層412Aより上に、垂直共振器型の面発光レーザVCSELが形成されている。面発光レーザVCSELは、波長 λ_4 ($=780 \text{ nm}$)のレーザ光を出射でき、例えば、以下の層構造を有する。

【0076】面発光レーザVCSELは、p型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ からなるp型コンタクト層412A、p型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ とp型 $\text{Al}_{0.85}\text{Ga}_{0.15}\text{As}$ を交互に30ペア積層し、波長 λ_4 付近の波長の光に対し99.5%以上の反射率を持つp型分布反射型多層膜ミラー(DBRミラー)407、p型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ からなるp型クラッド層408、 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ バリア層とGaAs量子井戸層からなり、量子井戸層が5層で構成される多重量子井戸構造の活性層409、n型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ からなるn型クラッド層410、n型AlAs層411、n型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ とn型 $\text{Al}_{0.85}\text{Ga}_{0.15}\text{As}$ を交互に20ペア積層し、波長 λ_4 付近の波長の光に対し98.5~99%の反射率を持つn型DBRミラー412、およびn型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ からなるn型コンタクト層413、が順次エピタキシャル成長により形成されている。また、n型AlAs層411には、発光中心付近の注入電流密度を上げるた

めの電流狭窄部419が選択酸化により形成されている。そして、n型コンタクト層410Aおよびp型コンタクト層412Aの一部が露出するように、ステップがそれぞれ形成されている。

【0077】また、半導体基板401上に形成された複数の半導体層からなる堆積体の周囲には、誘電体膜413が形成されている。この誘電体膜413は、面発光レーザVCSELの出射口420Aの部分では除去されている。さらに、複数の半導体層からなる堆積体の周囲には、誘電体膜413を介して絶縁性の埋め込み層414Aが形成されている。この埋め込み層414Aは、フォトダイオード形成領域400FDで形成された埋め込み層414Bと同様の物質を用いることができる。

【0078】さらに、面発光レーザVCSELの出射口420Aの周囲にはオーミック電極415Aaが形成されている。また、埋め込み層414Aの上面には、図6に示すように、n型コンタクト層410Aおよびp型コンタクト層412Aに接続されるオーミック電極415Abおよび415Acが所定のパターンで形成されている。各オーミック電極415Abおよび415Acは、図8に示すように、埋め込み層414Aに形成されたコンタクトホール内の導電層416Abおよび416Acを介してステップにおいて露出するコンタクト層410Aおよび412Aと電気的に接続されている。

【0079】この面発光レーザ形成領域400SLにおいては、面発光レーザVCSELの下に、n型コンタクト層410A、第4の光吸収層411Aおよびp型コンタクト層412Aからなるpin型フォトダイオード400A-4が形成され、このpin型フォトダイオード400A-4によって面発光レーザVCSELの出射光量をモニタすることができる。

【0080】(デバイスの製造工程) 次に、図6～図8に示すモノリシック受発光素子400の製造工程の一例を説明する。

【0081】(a) まず、高抵抗半導体基板401上に、例えば図7に示す組成を有する、p型コンタクト層402B、第1の光吸収層403B、n型コンタクト層404B、第2の光吸収層405B、p型コンタクト層406B、絶縁層407B、p型コンタクト層408B、第3の光吸収層409B、n型コンタクト層410B、第4の光吸収層411B、およびp型コンタクト層412Bを順次エピタキシャル成長させる。この成膜工程では、フォトダイオード形成領域400FDの上記各半導体層402B～412Bの形成と同時に、面発光レーザ形成領域400SLの各半導体層402A～412Aが形成される。この成膜工程では、実施の形態1と同様なエピタキシャル成長法を用いることができる。

【0082】(b) 次に、実施の形態1と同様に、常圧熱CVD法によってエピタキシャル成長層上に25nm程度のシリコン酸化膜からなる誘電体膜を形成する。こ

の誘電体膜によって、エピタキシャル成長層のプロセス中での表面汚染を防いでいる。

【0083】次に、フォトダイオード形成領域400FDをフォトレジストによってマスキングし、さらに、面発光レーザ形成領域400SLにおいてマスクの形成およびエッチングのプロセスを繰り返すことにより、柱状部を形成する。

【0084】次に、面発光レーザ形成領域400SLをマスキングする。そして、フォトダイオード形成領域FDにおいて、フォトレジストをマスクとして、p型コンタクト層402Bが露出するまで、エピタキシャル成長層の一部をエッチングしてステップを形成する。同様に、フォトレジストをマスクとして、エピタキシャル成長層をエッチングして、各コンタクト層402B、404B、406B、408Bおよび410Bの上面にステップを形成する。図7においては、コンタクト層406Bのみ図示する。これらのステップの平面形状は特に限定されず、オーミック電極415Ba～415Bc、415Beおよび415Bfとコンタクト層402B、404B、406B、408Bおよび410Bとのコンタクト領域を確保できればよい。

【0085】さらに、フォトダイオード形成領域400FDと面発光レーザ形成領域400SLとを分離するための分離溝をエッチングによって形成する。また、これらのステップおよび分離溝を形成する順序は、特に限定されない。

【0086】(c) 次に、実施の形態1と同様に、フォトレジストを除去し、硫化アンモニウム等によるエッチング断面の処理を行った後、常圧熱CVD法によってエピタキシャル成長層上とエッチング断面にシリコン酸化膜からなる誘電体膜413を形成する。そして、受光部420Bにおける誘電体膜413は、保護膜と反射防止膜とを兼ねるように、その膜厚は、光学的厚さが光源として使用する光の4波長の平均値のほぼ1/4倍になるように設定する。

【0087】(d) 次に、エピタキシャル成長層の周囲に、誘電体膜413を介してポリイミドなどのフォトリソグラフィの可能な耐熱性樹脂、あるいはシリコン酸化膜、シリコン窒化膜などの絶縁性の層を形成して、埋込み層414Bを形成する。埋込み層414Bの形成方法は特に限定されないが、耐熱性樹脂の場合には、スピニングなどの方法により形成することができ、シリコン酸化膜の場合にはスピニング法により形成することができる。

【0088】(e) 次に、図6および図7に示すように、フォトダイオード形成領域400FDにおいては、オーミック電極とコンタクト層とを接続するためのコンタクトホールを、一般に用いられているフォトリソグラフィを含むプロセスによって埋込み層414Bに形成する。また、誘電体膜413の露出部分にもコンタクトホ

ールを形成する。次いで、各コンタクトホール内に導電層を埋め込んだ後電極層を形成してパターンニングすることにより、各コンタクト層402B、404B、406B、408B、410Bおよび412Bと電氣的に接続されるオーミック電極415Ba~415Bfを形成する。

【0089】また、図6および図8に示すように、面発光レーザ形成領域400SLでは、オーミック電極とコンタクト層とを接続するためのコンタクトホールを、一般に用いられているフォトリソグラフィを含むプロセスによって埋込み層414Aに形成する。次いで、各コンタクトホール内に導電層を埋め込んだ後電極層を形成してパターンニングすることにより、各コンタクト層410Aおよび412Aと電氣的に接続されるオーミック電極415Abおよび415Acを形成する。さらに、出射口420Aの周囲にオーミック電極415Aaを形成する。

【0090】本実施の形態では、フォトダイオード形成領域400FDにおいて、n型コンタクト層404Bは、第1および第2のpin型フォトダイオードの共通のコンタクト層として用いられている。また、n型コンタクト層410Bは、第3および第4のpin型フォトダイオードの共通のコンタクト層として用いられている。しかし、4つのpin型フォトダイオードを独立に動作させたいときは、例えば、n型コンタクト層404の中間に半絶縁性Al_{0.042}Ga_{0.958}Asからなる絶縁層、およびn型コンタクト層410の中間に半絶縁性Al_{0.133}Ga_{0.867}Asからなる絶縁層をそれぞれ挿入して、これらの絶縁層の上下のn型コンタクト層にそれぞれn型コンタクト電極を形成してもよい。面発光レーザ形成領域400SLにおいて形成されるpin型フォトダイオードについても同様である。

【0091】(デバイスの動作) 本実施の形態に係るモノリシック受発光素子400の基本的な動作は、実施の形態1と同様である。

【0092】すなわち、本実施の形態のモノリシック受発光素子400は、面発光レーザVCSELとフォトダイオード400Bとを有する。そして、フォトダイオード400Bは、第1、第2、第3および第4のpin型フォトダイオード400B-1、400B-2、400B-3および400B-4を有し、異なる4つの波長の光を単一の素子で検出することができる。また、面発光レーザVCSELの下部には、前述した第1、第2、第3および第4のpin型フォトダイオード400B-1~400B-4と同様な4つのpin型フォトダイオード400A-1~400A-4を有することから、面発光レーザVCSELの出射光量をpin型フォトダイオード400A-1~400A-4のいずれかによってモニタすることができる。例えば、面発光レーザVCSELの発振波長が λ_4 の場合、第4のpin型フォトダイ

オード400A-4によって出射光量を検出できる。

【0093】本実施の形態に係るモノリシック受発光素子400によれば、光源として垂直共振器型の面発光レーザを用いるため、個々の素子を近接させて2次的に配置することが容易である。さらに、垂直共振器型の面発光レーザはレーザ光の出射方向が半導体基板に対して垂直であるため、フォトダイオードとのモノリシック化が容易である。さらに、本実施の形態では、フォトダイオードの上に垂直共振器型の面発光レーザを重ねた構造を有することにより、面発光レーザの直下にあるフォトダイオードによってレーザ光の光量をモニタすることができる。その結果、極めて簡単な構成によって、垂直共振器型の面発光レーザのAPC (Auto Power Control) が可能である。

【0094】(その他のデバイス構造) 前述した実施の形態では、2つおよび4つのpin型フォトダイオードを積層したフォトダイオードを含むモノリシック受発光素子について述べたが、これらに限らず3つあるいは5つ以上のpin型フォトダイオードを積層することもできる。

【0095】例えば、3つのpin型フォトダイオードを有するフォトダイオードにおいては、図6~図8に示す実施の形態2に係るモノリシック受発光素子400で、第1のpin型フォトダイオード400B-1あるいは第4のpin型フォトダイオード400B-4を有さない構造などを採用することができる。

【0096】また、各pin型フォトダイオードを独立して駆動するために、各pin型フォトダイオードの間に絶縁層を挿入する構成としてもよい。

【0097】本発明に係るモノリシック受発光素子のフォトダイオードにおいては、前述した実施の形態において、各層におけるp型とn型を入れ替えて、極性を逆にしたフォトダイオードを構成することもできる。また、前述した実施の形態では、AlGaAs系のフォトダイオードについて述べたが、その他の材料系、例えば、GaInP系、ZnSSe系、InGaN系等の半導体からなるフォトダイオードについても適用できる。

【0098】(実施の形態3)

(光通信システム) 図9に、本発明に係るモノリシック受発光素子を用いた双方向の波長分割多重光通信が可能な光通信システムの一例を示す。この光通信システムは、受発光素子10および30と、この受発光素子10および30の間に設けられた光ファイバ20とを有する。

【0099】図10に、2波長を用いた双方向の波長分割多重光通信に用いられる受発光素子10および30の一例を示す。この受発光素子10(30)は、実施の形態1に係る2つのモノリシック受発光素子200-1および200-2を近接して同一パッケージ内に配置して構成される。一方のモノリシック受発光素子200-1

は、波長 λ_1 の光を出射する面発光レーザVCSEL1と、波長 λ_1 および λ_2 の2つの光を検出することができるフォトダイオード200Bとを有する。また、他方のモノリシック受発光素子200-2は、波長 λ_2 の光を出射する面発光レーザVCSEL2と、波長 λ_1 および λ_2 の光を検出することができるフォトダイオード200Bとを有する。

【0100】これらの受発光素子10および30は、各面発光レーザVCSEL1およびVCSEL2の出射口と各フォトダイオード200Bの受光面とが、光ファイバー20のコア部22に光学的に位置合わせされて結合される。この光通信システムによれば、異なる2つの波長 λ_1 および λ_2 を有する光を用いた双方向の波長分割多重光通信が可能となる。

【0101】また、光ファイバ20としては、コア径の大きなプラスチックファイバーを好ましく用いることができ、例えば光の損出、分散の小さいGI(Grade Index)型のフッ素系プラスチックファイバあるいはGI型のHPCF(Hard Polymer Clad Fiber)が好ましい。

【0102】本実施の形態に係る光通信システムによれば、1つの発振波長を有する面発光レーザ、および複数(2つ)の波長の光を単一の素子で検出可能なフォトダイオードを有するモノリシック受発光素子を2つ組み合わせた受発光素子を用いることにより、第1の受発光素子10、光ファイバ20および第2の受発光素子30の3者からなるシンプルな構成の双方向波長分割多重光通信システムを構成することができる。そして、従来のこの種の光通信システムのように、分波器などの光学部品を必要としないため、本実施の形態に係る光通信システムは、構成がシンプルで、かつ、光学調整が容易で、低コストな双方向波長分割多重伝送が可能な光通信システムを構成することができる。

【0103】(実施の形態4)

(光通信システム) 本発明に係るモノリシック受発光素子を用いた双方向の波長分割多重光通信が可能な光通信システムの他の例を示す。この光通信システムは、図9に示すように、実施の形態3と同様に、受発光素子40および50と、光ファイバー20とから構成される。

【0104】図11に、本実施の形態で使用される受発光素子40および50の平面構造を概略的に示す。この受発光素子40(50)は、実施の形態2に係るモノリシック受発光素子400と、面発光レーザを含む3つの発光素子500A、500Bおよび500Cとから構成されている。すなわち、受発光素子40(50)は、モノリシック受発光素子400の上に発光素子500A~500Cが実装されたものである。

【0105】発光素子500A~500Cは、それぞれ異なる波長(λ_1 、 λ_2 および λ_3)の光を出射する面発光レーザVCSEL1、VCSEL2およびVCSEL

3を有する。

【0106】これらの発光素子の一例を図12に示す。図12は、図11のC-C'線に沿った断面を模式的に示す図である。図12に示された発光素子500Aは、高抵抗半導体基板501上に、n型コンタクト層502、光吸収層503、およびp型コンタクト層504が形成されている。さらに、p型コンタクト層504より上に、垂直共振器型の面発光レーザVCSEL1が形成されている。面発光レーザVCSEL1は、波長 λ_1 のレーザ光を出射でき、例えば、以下の層構造を有する。

【0107】面発光レーザVCSEL1は、p型コンタクト層504、p型DBRミラー507、p型クラッド層508、多重量子井戸構造の活性層509、n型クラッド層510、n型AlAs層511、n型DBRミラー512、およびn型コンタクト層513、が順次エピタキシャル成長により形成されている。また、n型AlAs層511には、発光中心付近の注入電流密度を上げるための電流狭窄部519が選択酸化により形成されている。そして、n型コンタクト層502およびp型コンタクト層504の一部が露出するように、ステップがそれぞれ形成されている。

【0108】また、半導体基板501上に形成された複数の半導体層からなる堆積体の周囲には、誘電体膜513が形成されている。この誘電体膜513は、面発光レーザVCSEL1の出射口520の部分では除去されている。さらに、複数の半導体層からなる堆積体の周囲には、誘電体膜513を介して絶縁性の埋め込み層514が形成されている。

【0109】さらに、面発光レーザVCSEL1の出射口520の周囲にはオーミック電極515aが形成されている。また、埋め込み層514の上面には、図11に示すように、n型コンタクト層502およびp型コンタクト層504に接続されるオーミック電極515bおよび515cが所定のパターンで形成されている。各オーミック電極515bおよび515cは、図12に示すように、埋め込み層514に形成されたコンタクトホール内の導電層を介してステップにおいて露出するコンタクト層502および504と電氣的に接続されている。

【0110】この面発光レーザVCSEL1の下に、n型コンタクト層502、光吸収層503およびp型コンタクト層504からなるpin型フォトダイオード500-1が形成され、このpin型フォトダイオード500-1によって面発光レーザVCSEL1の出射光量をモニタすることができる。

【0111】このように、本実施の形態に係る受発光素子40および50は、それぞれ、モノリシック受発光素子400の波長 λ_4 の光を出射する面発光レーザVCSELと、3つの発光素子500A~500Cとによって、4つの異なる波長(λ_1 、 λ_2 、 λ_3 および λ_4)の光を出射することができ、かつこれらの波長 λ_1 、 λ_2 、 λ

3および λ_4 の光をモノリシック受発光素子400の単一のフォトダイオード400Bによって検出することができる。

【0112】そして、これらの受発光素子40および50は、各面発光レーザVCSEL1~VCSEL3およびモノリシック受発光素子400の面発光レーザVCSELの各出射口とフォトダイオード400Bの受光面とが、光ファイバ20のコア部22に光学的に位置合わせされて結合される。この光通信システムによれば、異なる4つの波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 および λ_4 を有する光を用いた双方向の波長分割多重光通信が可能となる。

【0113】本実施の形態に係る光通信システムによれば、面発光レーザを有する3つの発光素子と、1つの面発光レーザおよび複数(4つ)の波長の光を単一の素子で検出可能なフォトダイオードを有するモノリシック受発光素子とを組み合わせた受発光素子を用いることにより、第1の受発光素子40、光ファイバ20および第2の受発光素子50の3者からなるシンプルな構成の波長分割多重光通信システムを構成することができる。そして、従来のこの種の光通信システムのように、分波器などの光学部品を必要としないため、本実施の形態に係る光通信システムは、構成がシンプルで、かつ、光学調整が容易で、低コストな双方向波長分割多重伝送が可能な光通信システムを構成することができる。

【0114】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1に係るモノリシック受発光素子を模式的に示す断面図である。

【図2】図1に示すモノリシック受発光素子の製造プロセスを模式的に示す断面図である。

【図3】図2に引き続き行われる製造プロセスを模式的に示す断面図である。

【図4】図3に引き続き行われる製造プロセスを模式的に示す断面図である。

【図5】図1に示すモノリシック受発光素子を構成するフォトダイオードの等価回路である。

【図6】本発明の実施の形態2に係るモノリシック受発光素子を模式的に示す平面図である。

【図7】図6に示すモノリシック受発光素子をB-B'線に沿って模式的に示す断面図である。

【図8】図6に示すモノリシック受発光素子をA-A'線に沿って模式的に示す断面図である。

【図9】本発明の実施の形態3および4に係る、モノリシック受発光素子を用いた光通信システムを示す図である。

【図10】図9に示す受発光素子の構成例を示す図である。

【図11】本発明の実施の形態4に係る光通信システムに用いられる受発光素子を模式的に示す平面図である。

【図12】図11に示す受発光素子を構成する発光素子

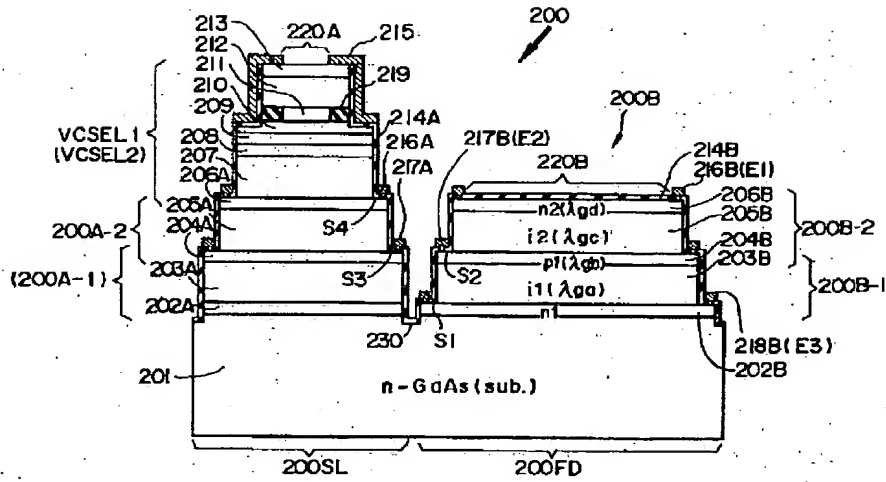
の構成例をC-C'線に沿って模式的に示す断面図である。

【図13】従来の双方向の波長分割多重光通信を模式的に示す図である。

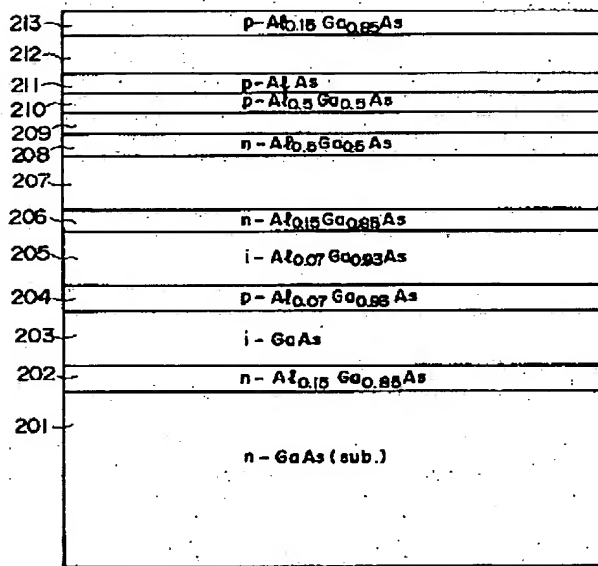
【符号の説明】

200, 400 モノリシック受発光素子
200A-1, 200A-2, 200B-1, 200B-2 pin型フォトダイオード
201 高抵抗半導体基板
203A, 205A, 203B, 205B 光吸収層
204A, 204B p型コンタクト層
206A, 206B n型コンタクト層
214A, 214B, 413 誘電体膜
216A, 218A, 216B, 218B n型オーミック電極
217A, 217B p型オーミック電極
220B 受光部
400A-1, 400A-2, 400A-3, 400A-4 pin型フォトダイオード
400B-1, 400B-2, 400B-3, 400B-4 pin型フォトダイオード
401 高抵抗半導体基板
402A, 402B p型コンタクト層
403A, 403B 第1の光吸収層
404A, 404B n型コンタクト層
405A, 405B 第2の光吸収層
406A, 406B p型コンタクト層
407A, 407B 絶縁層
408A, 408B p型コンタクト層
409A, 409B 第3の光吸収層
410A, 410B n型コンタクト層
411A, 411B 第4の光吸収層
412A, 412B p型コンタクト層
413 誘電体膜
414A, 414B 埋込み層
415Aa~415Ac オーミック電極
415Ba~415Bf オーミック電極
500A, 500B, 500C 発光素子
501 高抵抗半導体基板
502 n型コンタクト層
503 光吸収層
504 p型コンタクト層
507 n型DBRミラー
508 p型クラッド層
509 多重量子井戸構造の活性層
510 n型クラッド層
511 n型AlAs層
512 n型DBRミラー
10, 30, 40, 50 受発光素子
20 光ファイバ

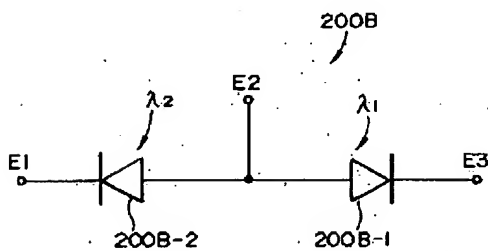
【図1】



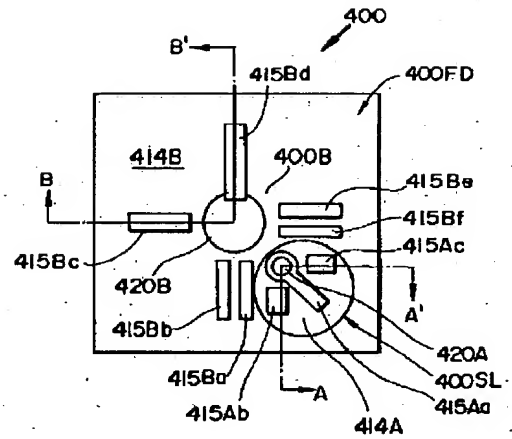
【図2】



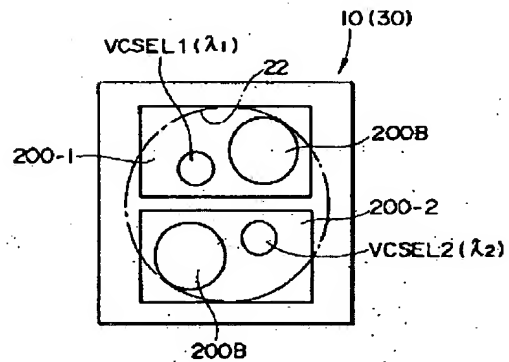
【図5】



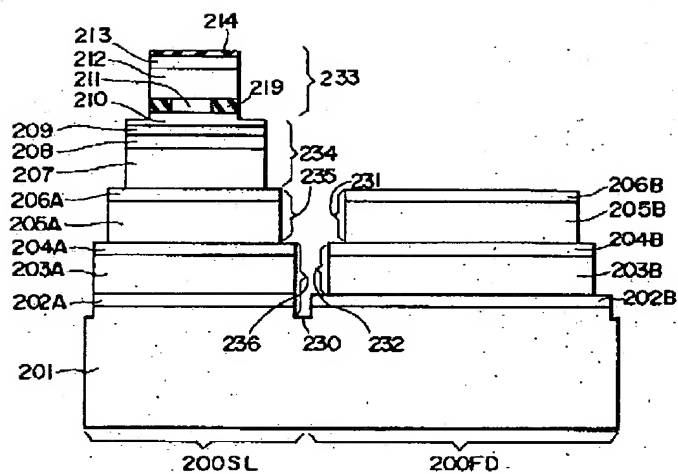
【図6】



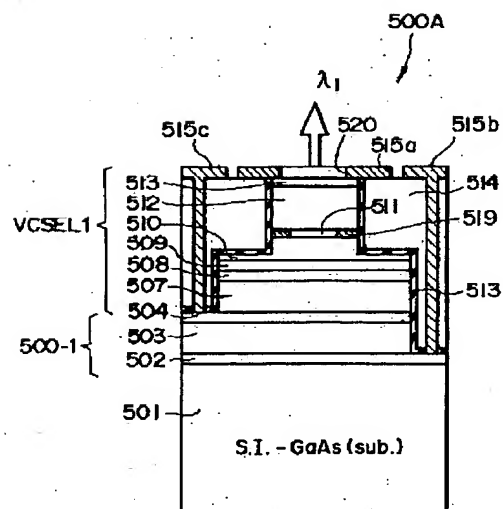
【図10】



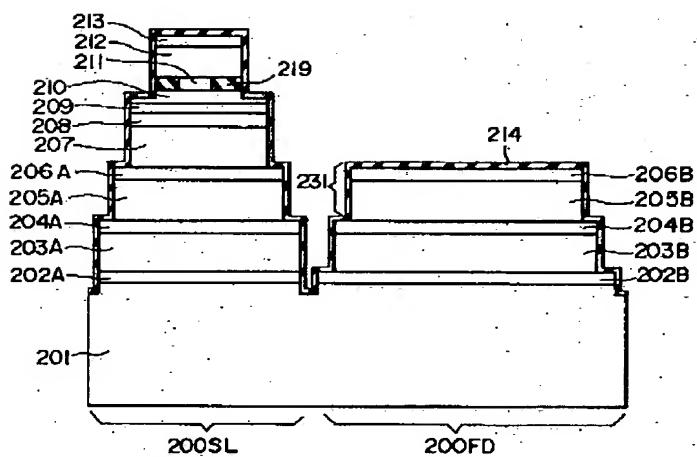
【図 3】



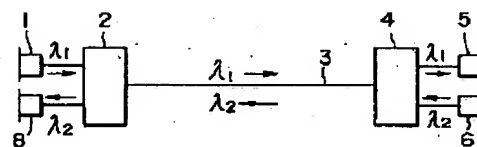
【図 12】



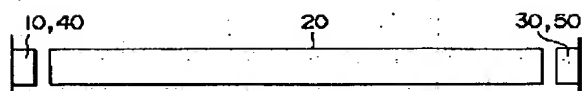
【図 4】



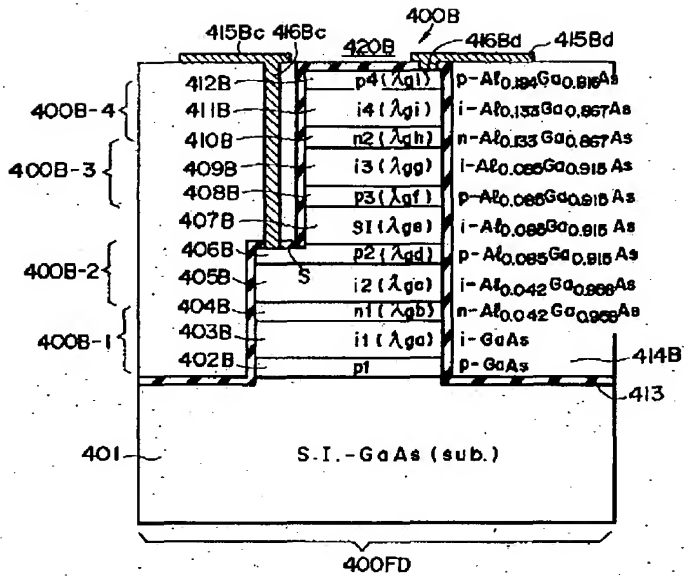
【図 13】



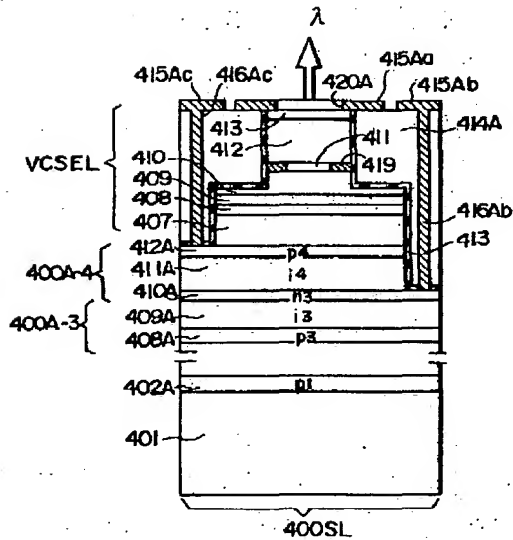
【図 9】



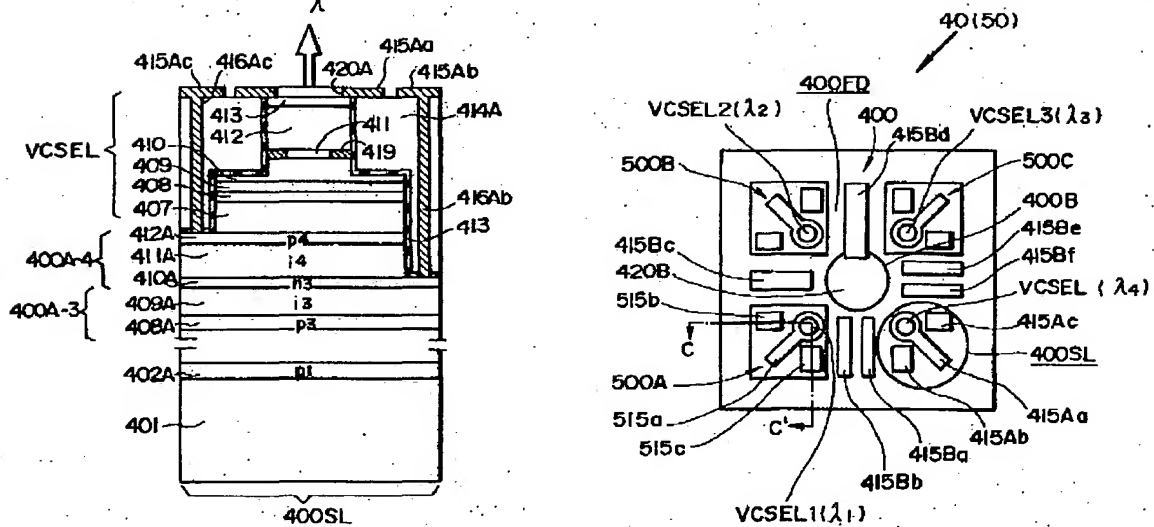
【図 7】



【図 8】



【図 11】



* NOTICES *

JP-A 11-330532

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the monolithic carrier light emitting device which a light sensing portion is formed in the pin type photodiode side in which a bandwidth has the largest optical-absorption layer, and can carry out optical - electrical-and-electric-equipment conversion of the light of the wavelength from which plurality differs by being carried out the laminating of the type photodiode aforementioned [pin] from the aforementioned semiconductor substrate side to the small order of the bandwidth of the aforementioned optical-absorption layer including two or more pin type photodiodes which have the optical-absorption layer of a bandwidth which is different on a deposition object characterized by to provide the The photodiode formation field where a photodiode is formed on the semiconductor substrate of high resistance. They are two or more semiconductor layers by which the surface emission-type laser formation field in which a surface emission-type laser is formed at least was included, the aforementioned photodiode formation field and the aforementioned surface emission-type laser formation field were electrically separated, and the laminating of the aforementioned photodiode was carried out on the aforementioned semiconductor substrate.

[Claim 2] It is the monolithic carrier light emitting device which it has the deposition object formed simultaneously with the deposition object which has two or more semiconductor layers from which the aforementioned surface emission-type laser formation field constitutes the aforementioned photodiode in a claim 1, and a perpendicular resonator type surface emission-type laser is formed above this deposition object, and can detect the outgoing radiation quantity of light of the aforementioned surface emission-type laser by one which is contained in the aforementioned deposition object of pin type photodiodes.

[Claim 3] The pin type photodiode of the above 1st and the pin type photodiode of the above 2nd are a monolithic carrier light emitting device shared in a contact layer with the single contact layer of each same conductivity type including 1 set of photodiodes which consist of the 1st and 2nd pin type photodiodes which the aforementioned photodiode adjoins in a claim 1 or a claim 2.

[Claim 4] In a claim 3 on the aforementioned semiconductor substrate The 1st contact layer of the 1st conductivity type, The laminating of the 1st optical-absorption layer, the 2nd contact layer of the 2nd conductivity type, the 2nd optical-absorption layer, and the 3rd contact layer of the 1st conductivity type is carried out to this order. the pin type photodiode of the above 1st It consists of a contact layer of the above 1st, an optical-absorption layer of the above 1st, and a contact layer of the above 2nd. the pin type photodiode of the above 2nd It consists of a contact layer of the above 2nd, an optical-absorption layer of the above 2nd, and a contact layer of the above 3rd. When wavelength equivalent to the energy of the bandwidth of the optical-absorption layer of the above 1st, the contact layer of the above 2nd, the optical-absorption layer of the above 2nd, and the contact layer of the above 3rd is set to λ_{ga} , λ_{gb} , λ_{gc} , and λ_{gd} , respectively, It $\lambda_{gb} \leq \lambda_{ga}$ $\lambda_{gd} < \lambda_{gc}$ and $\lambda_{gc} < \lambda_{ga}$ (ing) and]-gc(s), comes out, and is a certain monolithic carrier light emitting device.

[Claim 5] The monolithic carrier light emitting device in which the aforementioned 1 set according to claim 3 of photodiodes are prepared in the both sides of an insulating layer, respectively, and four pin type photodiodes are contained in a claim 1. [Claim 6] In a claim 5 on the aforementioned

semiconductor substrate The 1st contact layer of the 1st conductivity type, The 1st optical-absorption layer, the 2nd contact layer of the 2nd conductivity type, and the 2nd optical-absorption layer, The 3rd contact layer of the 1st conductivity type, an insulating layer, and the 4th contact layer of the 1st conductivity type, The laminating of the 3rd optical-absorption layer, the 5th contact layer of the 2nd conductivity type, the 4th optical-absorption layer, and the 6th contact layer of the 1st conductivity type is carried out to this order. the 1st pin type photodiode It consists of a contact layer of the above 1st, an optical-absorption layer of the above 1st, and a contact layer of the above 2nd. the 2nd pin type photodiode It consists of a contact layer of the above 2nd, an optical-absorption layer of the above 2nd, and a contact layer of the above 3rd. the 3rd pin type photodiode It consists of a contact layer of the above 4th, an optical-absorption layer of the above 3rd, and a contact layer of the above 5th. the 4th pin type photodiode It consists of a contact layer of the above 5th, an optical-absorption layer of the above 4th, and a contact layer of the above 6th. The optical-absorption layer of the above 1st, the contact layer of the above 2nd, the optical-absorption layer of the above 2nd, The contact layer of the above 3rd, the aforementioned insulating layer, the contact layer of the above 4th, the optical-absorption layer of the above 3rd, The wavelength equivalent to the energy of the bandwidth of the contact layer of the above 5th, the optical-absorption layer of the above 4th, and the contact layer of the above 6th When referred to as λ_{dga} , λ_{dgb} , λ_{dgc} , λ_{dgd} , λ_{dge} , λ_{dgf} , λ_{dgg} , λ_{dgh} , λ_{dgi} , and λ_{dgj} , respectively, It $\lambda_{gh} \leq \lambda_{dga}$, $\lambda_{gb} \leq \lambda_{dgb}$, $\lambda_{gc} \leq \lambda_{dgc}$, $\lambda_{gd} \leq \lambda_{dgd}$, $\lambda_{ge} \leq \lambda_{dge}$, $\lambda_{gf} \leq \lambda_{dgf}$, $\lambda_{gg} \leq \lambda_{dgg}$, $\lambda_{gh} \leq \lambda_{dgh}$, and $\lambda_{gi} \leq \lambda_{dgi}$, comes out, and is a certain monolithic carrier light emitting device.

[Claim 7] It is the monolithic carrier light emitting device from which between each pin type photodiode is electrically separated by the insulating layer in the claim 1, respectively.

[Claim 8] The light of the wavelength from which plurality differs including a monolithic carrier light emitting device according to claim 1 to 7 Outgoing radiation and the 1st detectable carrier light emitting device, A monolithic carrier light emitting device according to claim 1 to 7 is included with optical waveguide. Outgoing radiation and the 2nd detectable carrier light emitting device are contained in the light of the wavelength from which outgoing radiation and detectable plurality differ by the carrier light emitting device of the above 1st at least. The optical transmission system for bidirectional wavelength division multiplex optical communication with which optical connection of the carrier light emitting device of the above 1st and the 2nd carrier light emitting device was directly made by the optical waveguide.

[Claim 9] It is the optical transmission system which the aforementioned carrier light emitting device has arranged two or more monolithic carrier light emitting devices according to claim 1 to 7 in a claim 8, and was constituted.

[Claim 10] It is the optical transmission system constituted combining the light emitting device in which the aforementioned carrier light emitting device contains a surface emission-type laser in a claim 8 with a monolithic carrier light emitting device according to claim 1 to 7.

[Claim 11] It is the optical transmission system whose aforementioned optical waveguide is an optical fiber in either a claim 8 - the claim 10.

[Claim 12] The optical transmission system arranged so that the outgoing radiation mouth of the aforementioned surface emission-type laser which constitutes the above 1st and the 2nd carrier light emitting device and the light-receiving side of the aforementioned photodiode, and the optical-transmission section of the aforementioned optical waveguide may counter optically in either a claim 8 - the claim 11, respectively.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to the optical transmission system using the monolithic carrier light emitting device and this suitable for using for bidirectional wavelength division multiplex optical communication.

[0002]

Background of the Invention] In recent years, high speed and the bidirectional wavelength division multiplex optical communication in which mass communication is possible attract attention. An example of the conventional technology of this bidirectional wavelength division multiplex optical communication is shown in drawing 13 .

[0003] In drawing 13 , the bidirectional wavelength division multiplex optical communication using the light of two wavelength is shown. In this example, as a light emitting device, semiconductor laser 1 (wavelength λ_1) and 6 (wavelength λ_2) is used, and the photodiodes 5 and 8 detectable, respectively are used in wavelength λ_1 and λ_2 as a photo detector. And semiconductor laser 1 and a photodiode 8 are formed in one side, and semiconductor laser 6 and a photodiode 5 are formed in an another side side. Semiconductor laser 1 and a photodiode 8 are connected to an optical fiber 3 through a splitter 2. Moreover, semiconductor laser 6 and a photodiode 5 are connected with an optical fiber 3 through a splitter 4. And in this optical transmission system, bidirectional wavelength division multiplex optical communication can be performed by performing luminescence and light-receiving simultaneously using two light from which wavelength differs.

[0004] However, since the splitter for needing the individual semiconductor laser and individual photodiode of the number according to component light, and separating light spectrally, in order to set to this optical transmission system and to transmit and receive the signal light of two or more wavelength components is needed, it has the problem that an optical circuit becomes complicated.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] this invention solves such a technical problem and the place made into the purpose is to offer the monolithic carrier light emitting device which can transmit and receive the lightwave signal by which the wavelength division multiplex was carried out with the single element.

[0006] Using the monolithic carrier light emitting device concerning this invention, other purposes of this invention do not require optical parts, such as a splitter, but are to offer the optical transmission system in which bidirectional wavelength division multiplex optical communication is possible by the very simple optical circuit.

[0007]

[Means for Solving the Problem] The photodiode formation field where a photodiode is formed on the semiconductor substrate of high resistance [the monolithic carrier light emitting device concerning this invention], The surface emission-type laser formation field in which a surface emission-type laser is formed at least is included. The aforementioned photodiode formation field and the aforementioned

surface emission-type laser formation field are separated electrically. the aforementioned photodiode Two or more pin type photodiodes which have the optical-absorption layer of a different bandwidth are included in the deposition object which has two or more semiconductor layers by which the laminating was carried out on the aforementioned semiconductor substrate. the type photodiode aforementioned [pin] A laminating is carried out to the small order of the bandwidth of the aforementioned optical-absorption layer from the aforementioned semiconductor substrate side, and a light sensing portion is formed in the pin type photodiode side in which a bandwidth has the largest optical-absorption layer, and optical - electrical-and-electric-equipment conversion of the light of the wavelength from which plurality differs can be carried out.

[0008] Two or more light which has different wavelength is detectable by according to the photodiode of the monolithic carrier light emitting device of this invention, carrying out the laminating of two or more pin type photodiodes which have the optical-absorption layer of a different bandwidth on a semiconductor substrate, and carrying out incidence of the light from the pin type photodiode side in which the sequence of the laminating is the small order of the bandwidth of the aforementioned semiconductor substrate side to the aforementioned optical-absorption layer, and a bandwidth has the largest optical-absorption layer.

[0009] For example, when it has the n-layer optical-absorption layer of a different bandwidth sequentially from a semiconductor substrate, It is long wave length from the wavelength which the light of wavelength shorter than the wavelength equivalent to the energy of the bandwidth of a layer [n-th] optical-absorption layer is absorbed by this layer [n-th] optical-absorption layer, and is equivalent to the energy of the bandwidth of a layer [n-th] optical-absorption layer. And a light shorter than the wavelength equivalent to the energy of the bandwidth of the layer [n-1st] optical-absorption layer is absorbed by the layer [n-1st] optical-absorption layer. And even the n-2nd layer, ..., the 1st [at least] layer of the same optical absorption are performed one by one. Consequently, the light of the wavelength from which n differs is individually detectable with a single photodiode, respectively.

[0010] Moreover, since the monolithic carrier light emitting device of this invention has a surface emission-type laser at least, the outgoing radiation of the light of specific wavelength is possible for it with detection of the light by the aforementioned photodiode. Moreover, it is easy by using a surface emission-type laser as a light-emitting part to make monolithic carrier light emitting devices or a monolithic carrier light emitting device, and a light emitting device approach, and to arrange two-dimensional.

[0011] As for the aforementioned surface emission-type laser formation field, it is desirable for the outgoing radiation quantity of light of the aforementioned surface emission-type laser to be detectable with one which it has the deposition object formed simultaneously with the deposition object which has two or more semiconductor layers which constitute the aforementioned photodiode, and a perpendicular resonator type surface emission-type laser is formed above this deposition object, and is contained in the aforementioned deposition object of pin type photodiodes.

[0012] To a semiconductor substrate, since it is perpendicular, a perpendicular resonator type surface emission-type laser has monolithic-izing easy for the direction of outgoing radiation of a laser beam with a photodiode. Furthermore, the monitor of the quantity of light of a laser beam can be carried out by one which is directly under a surface emission-type laser of pin type photodiodes (pin type photodiode which has the optical-absorption layer by which the outgoing radiation light of a surface emission-type laser is absorbed) by having the structure which piled up the perpendicular resonator type surface emission-type laser above the deposition object which constitutes a photodiode. Consequently, APC (AutoPower Control) of a perpendicular resonator type surface emission-type laser is possible by very easy composition.

[0013] In the aforementioned photodiode, 1 set of photodiodes which consist of the 1st and 2nd adjoining pin type photodiodes are contained, and, as for the pin type photodiode of the above 1st, and the pin type photodiode of the above 2nd, it is desirable to be used in common in a contact layer with the single contact layer of each same conductivity type. Thus, by sharing the contact layer of two pin type photodiodes, the number of semiconductor layers can be reduced, it cannot come out of a device as

much as possible small, and the number of processes of a manufacture process can be lessened.

[0014] The number of the pin type photodiodes which constitute a photodiode is two or more, and when it takes the restrictions on a manufacture process into consideration, 2-4 are desirable.

[0015] (a) It is desirable for the number of pin type photodiodes to have the following layer structures in two photodiodes.

[0016] This photodiode on the aforementioned semiconductor substrate The 1st contact layer of the 1st conductivity type, The laminating of the 1st optical-absorption layer, the 2nd contact layer of the 2nd conductivity type, the 2nd optical-absorption layer, and the 3rd contact layer of the 1st conductivity type is carried out to this order. the pin type photodiode of the above 1st It consists of a contact layer of the above 1st, an optical-absorption layer of the above 1st, and a contact layer of the above 2nd. the pin type photodiode of the above 2nd It consists of a contact layer of the above 2nd, an optical-absorption layer of the above 2nd, and a contact layer of the above 3rd. the time of setting wavelength equivalent to the energy of the bandwidth of the optical-absorption layer of the above 1st, the contact layer of the above 1st, the optical-absorption layer of the above 2nd, and the contact layer of the above 2nd to λ_{ga} , λ_{gb} , λ_{gc} , and λ_{gd} , respectively -- $\lambda_{gd} < \lambda_{gc} < \lambda_{ga}$ and $\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$ -- it comes out

[0017] (b) It is desirable for the number of pin-type photodiodes to have the following layer structures in four photodiodes.

[0018] The 1 aforementioned set of photodiodes are prepared in the both sides of an insulating layer, respectively, and, as for this photodiode, four pin type photodiodes are contained. And 2 sets of photodiodes are electrically separated by the aforementioned insulating layer.

[0019] As for this photodiode, it is desirable to have the following layer structures further.

[0020] A photodiode on the semiconductor substrate of high resistance The 1st contact layer of the 1st conductivity type, The 1st optical-absorption layer, the 2nd contact layer of the 2nd conductivity type, and the 2nd optical-absorption layer, The 3rd contact layer of the 1st conductivity type, an insulating layer, and the 4th contact layer of the 1st conductivity type, The laminating of the 3rd optical-absorption layer, the 5th contact layer of the 2nd conductivity type, the 4th optical-absorption layer, and the 6th contact layer of the 1st conductivity type is carried out to this order. the 1st pin type photodiode It consists of a contact layer of the above 1st, an optical-absorption layer of the above 1st, and a contact layer of the above 2nd. the 2nd pin type photodiode It consists of a contact layer of the above 2nd, an optical-absorption layer of the above 2nd, and a contact layer of the above 3rd. the 3rd pin type photodiode It consists of a contact layer of the above 4th, an optical-absorption layer of the above 3rd, and a contact layer of the above 5th. the 4th pin type photodiode It consists of a contact layer of the above 5th, an optical-absorption layer of the above 4th, and a contact layer of the above 6th. The optical-absorption layer of the above 1st, the contact layer of the above 2nd, the optical-absorption layer of the above 2nd, The contact layer of the above 3rd, the aforementioned insulating layer, the contact layer of the above 4th, the optical-absorption layer of the above 3rd, The wavelength equivalent to the energy of the bandwidth of the contact layer of the above 5th, the optical-absorption layer of the above 4th, and the contact layer of the above 6th the time of being referred to as λ_{ga} , λ_{gb} , λ_{gc} , λ_{gd} , λ_{ge} , λ_{gf} , λ_{gg} , λ_{gh} , λ_{gi} , and λ_{gj} , respectively -- $\lambda_{gj} < \lambda_{gi} < \lambda_{gg} < \lambda_{gc} < \lambda_{ga}$, $\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$, $\lambda_{gd} \leq \lambda_{ga}$, $\lambda_{ge} \leq \lambda_{gf} \leq \lambda_{gg}$, and $\lambda_{gh} \leq \lambda_{gi}$ -- it comes out

[0021] (c) The number of pin type photodiodes can consider as the structure where it does not have the 1st or 4th pin type photodiode among four pin type photodiodes mentioned above in three photodiodes.

[0022] Moreover, the photodiode concerning this invention can also take the structure where between each pin type photodiode is electrically separated by the insulating layer, respectively. According to this photodiode, each pin type photodiode is individually controllable.

[0023] The optical transmission system concerning this invention the light of the wavelength from which plurality differs including a monolithic carrier light emitting device according to claim 1 to 7

Outgoing radiation and the 1st detectable carrier light emitting device, A monolithic carrier light emitting device according to claim 1 to 7 is included with an optical waveguide. Outgoing radiation and

the 2nd detectable carrier light emitting device are contained in the light of the wavelength from which outgoing radiation and detectable plurality differ by the carrier light emitting device of the above 1st at least, optical connection of the carrier light emitting device of the above 1st and the 2nd carrier light emitting device is directly made by the optical waveguide, and it is suitable for bidirectional wavelength division multiplex optical communication.

[0024] According to this optical transmission system, it is the simple composition which consists of three persons of two carrier light emitting devices containing the monolithic carrier light emitting device concerning this invention, and an optical waveguide, for example, an optical fiber, and it is got blocked and a bidirectional wavelength division multiplex optical transmission system can consist of composition which does not need optics, such as a lens, a multiplexing machine, and a splitter.

[0025] And the outgoing radiation mouth of the aforementioned surface emission-type laser which constitutes the above 1st and the 2nd carrier light emitting device and the light-receiving side of the aforementioned photodiode, and the optical-transmission section of the aforementioned optical waveguide do not need optics, such as a splitter, like the conventional optical transmission system by coupling directly optically, respectively. Consequently, composition is simple, and optical adjustment is easy and can constitute the optical transmission system in which low cost bidirectional wavelength division multiplex transmission is possible.

[0026] The aforementioned carrier light emitting device can arrange two or more monolithic carrier light emitting devices according to claim 1 to 7, and can constitute them. Moreover, the aforementioned carrier light emitting device can be constituted combining the light emitting device which contains a surface emission-type laser with a monolithic carrier light emitting device according to claim 1 to 7.

[0027]

[Embodiments of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained using a drawing.

[0028] (Gestalt 1 of operation)

(Device structure) Drawing 1 is drawing showing typically the cross section of the monolithic carrier light emitting device 200 concerning the gestalt of 1 operation of this invention.

[0029] The monolithic carrier light emitting device 200 has photodiode formation field 200FD by which photodiode 200B is formed on the same semiconductor substrate 201, and surface emission-type laser formation field 200SL by which the perpendicular resonator type surface emission-type laser VCSEL1 is formed. And photodiode formation field 200FD and surface emission-type laser formation field 200SL are electrically separated by the separation slot 230 formed in the aforementioned semiconductor substrate 201.

[0030] (Photodiode) Photodiode 200B formed in photodiode formation field 200FD n type contact layer 202B which consists of n mold AlxGa1-xAs on the semiconductor substrate 201 of high resistance which consists of GaAs, 1st optical-absorption layer 203B which consists of i mold AlaGa1-aAs, p type contact layer 204B which consists of p mold AlbGa1-bAs, The laminating of 2nd optical-absorption layer 205B and n type contact layer 206B of n mold AldGa1-dAs which consist of i mold AlCGa1-CAs is carried out one by one. And the pillar-shaped section which consists of the 2nd optical-absorption layer 205B and n type contact layer 206B has a path smaller than the path of the pillar-shaped section which consists of the 1st low-ranking optical-absorption layer 203B and p type contact layer 204B from it, and Step S2 is formed in the front face of p type contact layer 204B. Moreover, the same step S1 is formed also in the front face of n type contact layer 202B.

[0031] Moreover, dielectric-film 214B which consists of a silicon oxide, a silicon nitride, etc. is formed in the circumference of the deposition object which consists of two or more semiconductor layers formed on the semiconductor substrate 201. The soffit of this dielectric-film 214B is formed so that the semiconductor substrate 201 may be reached. Moreover, in light sensing portion 220B of the upper surface of n type contact layer 206B, since dielectric-film 214B constitutes plane of incidence, it is optically transparent at least.

[0032] Furthermore, n type ohmic electrode 216B (E1) is formed in the upper surface of n type contact layer 206B so that light sensing portion 220B may be surrounded, and p type ohmic electrode 217B (E2)

is formed in Step S2 of the upper surface of p type contact layer 204B. n type ohmic electrode 218B (E3) is formed in Step S1 of the upper surface of n type contact layer 202B.

[0033] The 1st pin mold photodiode 200B-1 is constituted by n type contact layer 202B, 1st optical-absorption layer 203B, and p type contact layer 204B. The 2nd pin mold photodiode 200B-2 is constituted by p type contact layer 204B, 2nd optical-absorption layer 205B, and n type contact layer 206B.

[0034] Here, there is a relation to the composition rate of aluminum of each class of 1st optical-absorption layer 203B, p type contact layer 204B, 2nd optical-absorption layer 205B, and n type contact layer 206B called $0 \leq a < c < d$ and $c \leq b$. That is, if wavelength equivalent to the energy of the bandwidth of each class of 1st optical-absorption layer 203B, p type contact layer 204B, 2nd optical-absorption layer 205B, and n type contact layer 206B is set to λ_{ga} , λ_{gb} , λ_{gc} , and λ_{gd} , respectively, it will become a relation called $\lambda_{gd} < \lambda_{gc} < \lambda_{ga}$ and $\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$.

[0035] Therefore, the light of the wavelength shorter than wavelength λ_{gc} among the light which carries out incidence from light sensing portion 220B is mostly absorbed by 2nd optical-absorption layer 205B. Rather than wavelength λ_{gc} , it is long wavelength, and the light of short wavelength penetrates 2nd optical-absorption layer 205B rather than λ_{ga} , and it is absorbed by 1st optical-absorption layer 203B.

[0036] Moreover, decline in the quantum efficiency by surface recombination is prevented by considering as $\lambda_{gd} < \lambda_{gc}$ and giving the function as a window layer to n type contact layer 206B. Furthermore, because the light which penetrated 2nd optical-absorption layer 205B penetrated without being absorbed by p type contact layer 204B and was efficiently absorbed by 1st optical-absorption layer 203B, it considered as $\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$.

[0037] The equal circuit of photodiode 200B is shown in drawing 5. As for photodiode 200B, common connection of the 1st photodiode 200B-1 and the 2nd photodiode 200B-2 is made with p type ohmic electrode 217B (E2) with the anode. In drawing 5, signs E1 and E3 show n type ohmic electrode 216B and n type ohmic electrode 218B.

[0038] According to photodiode 200B, the light of two different wavelength λ_{d1} and λ_{d2} is changed into current by two photodiode 200B-1 and 200B-2, respectively, and is outputted as an electrical signal. And what is necessary is just to choose the wavelength of the light source so that it may be set to $\lambda_{gc} < \lambda_{d1} \leq \lambda_{ga}$ and $\lambda_{gd} < \lambda_{d2} \leq \lambda_{gc}$ when performing wavelength division multiplex optical communication with the light of wavelength λ_{d1} and wavelength λ_{d2} ($\lambda_{d2} < \lambda_{d1}$).

[0039] With the gestalt of this operation, in composition of a semiconductor layer, when referred to as $a=0$, $b=c=0.07$, and $d=0.15$, it was checked that they are $\lambda_{ga}=870\text{nm}$, $\lambda_{gb}=\lambda_{gc}=820\text{nm}$, and $\lambda_{gd}=770\text{nm}$. Therefore, the light of such two wavelength is detectable with single photodiode 200B by setting up the wavelength of the two light sources which perform wavelength division multiplying with $\lambda_{d1}=860\text{nm}$ and $\lambda_{d2}=810\text{nm}$ so that the above-mentioned formula may be filled.

[0040] (Surface emission-type laser) Surface emission-type laser formation field 200SL The deposition object of the semiconductor layer which constitutes photodiode 200B mentioned above on the semiconductor substrate 201 of high resistance which consists of GaAs, Namely, n type contact layer 202B, 1st optical-absorption layer 203B, p type contact layer 204B, The laminating of n type contact layer 202A which consists of the same semiconductor layer as 2nd optical-absorption layer 205B and n type contact layer 206B, 1st optical-absorption layer 203A, p type contact layer 204A, 2nd optical-absorption layer 205A, and the n type contact layer 206A is carried out one by one.

[0041] Furthermore, the perpendicular resonator type surface emission-type laser VCSEL1 is formed above n type contact layer 206A. A surface emission-type laser VCSEL1 can carry out outgoing radiation of the laser beam of wavelength λ_{d2} ($=810\text{nm}$), for example, has the following layer structures.

[0042] n type contact layer 206A which a surface emission-type laser VCSEL1 becomes from n mold

aluminum $0.15\text{Ga}0.85\text{As}$, 30 pair laminating of n mold aluminum $0.15\text{Ga}0.85\text{As}$ and the n mold aluminum $0.85\text{Ga}0.15\text{As}$ is carried out by turns. It consists of n type distribution reflection type multilayer mirror (DBR mirror) 207 which has 99.5% or more of reflection factor to the light of the wavelength of the wavelength $\lambda/2$ neighborhood, n type clad layer 208 which consists of n mold aluminum $0.5\text{Ga}0.5\text{As}$, an aluminum $0.3\text{Ga}0.7\text{As}$ barrier layer, and a GaAs quantum well layer. 20 pair laminating of the barrier layer 209 of the multiplex quantum well structure where a quantum well layer consists of five layers, p type clad layer 210 which it becomes from p mold aluminum $0.5\text{Ga}0.5\text{As}$, the p type AlAs layer 211, p mold aluminum $0.15\text{Ga}0.85\text{As}$, and the p mold aluminum $0.85\text{Ga}0.15\text{As}$ is carried out by turns. It consists of a p type DBR mirror 212 which has 98.5 - 99% of reflection factor to the light of the wavelength of the wavelength $\lambda/2$ neighborhood, and a deposition object with which p type contact layer 213** which consists of p mold aluminum $0.15\text{Ga}0.85\text{As}$ was formed of epitaxial growth one by one. The current narrow segment 219 (portion shown in the slash section in drawing) for raising the inrush current density near an emission center is formed in the p type AlAs layer 211 of selective oxidation.

[0043] The pillar-shaped section which consists of a part of p type clad layer 210, the p type AlAs layer 211, a p type DBR mirror 212, and a p type contact layer 213 has a path smaller than the path of the pillar-shaped section which consists of a part of the low-ranking n type DBR mirror 207, n type clad layer 208, barrier layer 209, and p type clad layer 210 from it, and the step is formed in p type clad layer 210.

[0044] Moreover, dielectric-film 214A which consists of a silicon oxide, a silicon nitride, etc. is formed in the circumference of the deposition object which consists of two or more semiconductor layers formed on the semiconductor substrate 201. This dielectric-film 214A is continuously formed with dielectric-film 214 of photodiode 200B mentioned above B. And the dielectric film is removed in the field of outgoing radiation mouth 220A of a surface emission-type laser VCSEL1.

[0045] Furthermore, p type ohmic electrode 215 is formed in the upper surface of p type contact layer 213 so that outgoing radiation mouth 220A may be surrounded. n type ohmic electrode 216A is formed in step S4 of the upper surface of n type contact layer 206A. And p type ohmic electrode 217A is formed in Step S3 of the upper surface of p type contact layer 204A.

[0046] The 3rd pin mold photodiode 200A-2 which carries out the monitor of the outgoing radiation quantity of light of the perpendicular resonator type surface emission-type laser VCSEL1 is constituted by p type contact layer 204A, 2nd optical-absorption layer 205A, and n type contact layer 206A. The 3rd [this] pin mold photodiode 200A-2 can detect the outgoing radiation quantity of light of this surface emission-type laser VCSEL1 by the light which absorbs the light of the wavelength $\lambda/1$ shorter than wavelength $\lambda/2$ equivalent to the energy of the bandwidth of the optical-absorption layer 205A, therefore began to leak from the DBR mirror 207 of a surface emission-type laser VCSEL1.

[0047] In the monolithic carrier light emitting device 200, when the perpendicular resonator type surface emission-type laser VCSEL2 which carries out outgoing radiation of the laser beam of wavelength $\lambda/1$ (=860nm) is formed instead of a surface emission-type laser VCSEL1, the monitor of the outgoing radiation quantity of light of a surface emission-type laser VCSEL2 can be carried out by the 4th pin mold photodiode 200A-1 which consists of n type contact layer 202A, the 1st optical-absorption layer 203A, and p type contact layer 204A.

[0048] (Manufacturing process of a device) Next, an example of the manufacturing process of the monolithic carrier light emitting device 200 shown in drawing 1 is explained using drawing 2 - drawing 4.

[0049] (a) First, as shown in drawing 2, on the high resistance semiconductor substrate 201 which consists of GaAs n type -- n type contact layer 202 which consists of aluminum $0.15\text{Ga}0.85\text{As}$, the 1st optical-absorption layer 203 which consists of i type GaAs, and p type -- p type contact layer 204 which consists of aluminum $0.07\text{Ga}0.93\text{As}$, and i type -- the 2nd optical-absorption layer 205 which consists of aluminum $0.07\text{Ga}0.93\text{As}$ -- 30 pair laminating of n type contact layer 206 which consists of n mold aluminum $0.15\text{Ga}0.85\text{As}$, n mold aluminum $0.15\text{Ga}0.85\text{As}$, and the n mold aluminum $0.85\text{Ga}0.15\text{As}$ is

carried out by turns. The laminating of the quantum well layer which consists of the becoming n type DBR mirror 207, n type clad layer 208 which consists of n mold aluminum $0.5\text{Ga}0.5\text{As}$, a barrier layer which consists of aluminum $0.3\text{Ga}0.7\text{As}$, and GaAs is carried out. The barrier layer 209 of the multiplex quantum well structure where a quantum well layer consists of five layers, p type clad layer 210 which it becomes from p mold aluminum $0.5\text{Ga}0.5\text{As}$, the p type AlAs layer 211, p mold aluminum $0.15\text{Ga}0.85\text{As}$, and p mold aluminum $0.85\text{Ga}0.15\text{As}$. The p type DBR mirror 212 which carried out 20 pair laminating by turns, and p type contact layer 213 which consists of p mold aluminum $0.15\text{Ga}0.85\text{As}$ by the MOVPE (Metal Organic Vapor Phase Epitaxy) method. It is made to grow epitaxially one by one. With the gestalt of this operation, although the MOVPE method was used for epitaxial growth, you may use the MBE (Molecular Beam Epitaxy) method or the LPE (Liquid Phase Epitaxy) method.

[0050] (b) Next, as shown in drawing 3, form the dielectric film 214 which consists of about 25nm SiO_2 on an epitaxial growth phase by the ordinary-pressure heat CVD (Chemical Vapor Deposition) method. This dielectric film 214 has protected the surface contamination in the inside of the process of an epitaxial growth phase.

[0051] Next, the photoresist which is not illustrated to surface emission-type laser formation field 200SL is formed, and it etches by the reactant ion-beam-etching (RIBE) method until n type contact layer 206B is exposed in photodiode formation field 200FD. Furthermore, it sees from the upper surface of an epitaxial growth phase, *****s in a circular configuration, and the pillar-shaped section 231 is formed until p type contact layer 204B is exposed by using as a mask the photoresist which has a predetermined pattern. Similarly, by using a photoresist as a mask, it *****s until n type contact layer 202B is exposed, and the pillar-shaped section 232 is formed. With the gestalt of this operation, although [the flat-surface configuration of these pillar-shaped sections 231 and 232] it is circular, it is not restricted to this. Moreover, reverse is sufficient as the turn which forms the pillar-shaped sections 231 and 232.

[0052] Next, the pillar-shaped sections 233, 234, 235 and 236 are formed by masking photodiode formation field 200FD by the photoresist, and repeating formation of a mask, and the process of etching in surface emission-type laser formation field 200SL further. Furthermore, the separation slot 230 for separating photodiode formation field 200FD and surface emission-type laser formation field 200SL is formed by etching.

[0053] And the step for the path becoming small by taking and forming an electrode between the pillar-shaped sections for which each pillar-shaped section goes to a high order is formed.

[0054] (c) Next, form further the dielectric film 214 which becomes the side of each pillar-shaped section from SiO_2 an epitaxial growth phase top by ordinary-pressure heat CVD after removing a photoresist and processing the etching cross section by the ammonium sulfide etc., as shown in drawing 4. Here, since the portion of the upper surface of the pillar-shaped section 231 is set to light sensing portion 220B, the thickness of the dielectric film 214 in light sensing portion 220B is set up so that it may increase about 1 of two waves of averages of the light which the optical thickness uses as the light source / 4 times so that a dielectric film 214 may serve both as a protective coat and an antireflection film in light sensing portion 220B. Moreover, in surface emission-type laser formation field 200SL, since the upper surface of p type contact layer 213 of the best layer constitutes an outgoing radiation mouth, the dielectric film for this outgoing radiation regio oralis is removed by etching.

[0055] (d) Next, as shown in drawing 1, the ring-like contact hole surrounding light sensing portion 220B is opened in dielectric-film 214B on n type contact layer 206B, form n type ohmic electrode 216B, open a ring-like contact hole in dielectric-film 214A on n type contact layer 206A simultaneously, and form n type ohmic electrode 216A. Furthermore, p type ohmic electrodes 217A and 217B are similarly formed in the upper surface of Steps S3 and S2 of p type contact layers 204A and 204B. Furthermore, n type ohmic electrode 218B is formed on Step S1 which n type contact layer 202B exposes. And p type ohmic electrode 215 is formed so that outgoing radiation mouth 220A may be surrounded.

[0056] With the gestalt of this operation, p type contact layer 204B (p type contact layer 204A) is used as the common contact layer of the 1st and 2nd pin type photodiodes (the 3rd and 4th pin type

photodiode). However, when each pin type photodiode wants to operate independently, the insulating layer which consists of aluminum_{0.07}Ga_{0.93}As or for example, high resistance may be inserted in the middle of this contact layer, and p type contact electrode may be formed in p type contact layer of the upper and lower sides of this insulating layer, respectively.

[0057] (Operation of a device) As explained above, the monolithic carrier light emitting device 200 of the gestalt of this operation has a surface emission-type laser VCSEL1 (or VCSEL2) and photodiode 200B. And photodiode 200B has the 1st, the 2nd photodiode 200B-1, and 200B-2, and can detect the light of different wavelength with a single element. moreover, the 1st and 2nd pin types mentioned above in the lower part of a surface emission-type laser VCSEL1 (or VCSEL2) -- the 3rd and 4th same pin types as photodiode 200B-1 and 200B-2 -- the outgoing radiation quantity of light of the surface emission-type lasers VCSEL1 or VCSEL2 since it has photodiode 200A-2 and 200A-1 -- the 3rd or 4th pin type -- a monitor can be carried out by photodiode 200A-2 or 200A-1, respectively

[0058] According to the monolithic carrier light emitting device 200 concerning the gestalt of this operation, in order to use a perpendicular resonator type surface emission-type laser as the light source, it is easy to make each element (a surface emission-type laser and photodiode) approach, and to arrange two-dimensional. Furthermore, to a semiconductor substrate, since it is perpendicular, a perpendicular resonator type surface emission-type laser has monolithizing easy for the direction of outgoing radiation of a laser beam with a photodiode. Furthermore, with the gestalt of this operation, the monitor of the quantity of light of a laser beam can be carried out by the photodiode which is directly under a surface emission-type laser by having the structure which piled up the perpendicular resonator type surface emission-type laser on the photodiode. Consequently, APC (Auto Power Control) of a perpendicular resonator type surface emission-type laser is possible by very easy composition.

[0059] (Form 2 of operation)

(a device -- structure) drawing 6 -- this invention -- one -- operation -- a form -- starting -- a monolithic - a carrier -- a light emitting device -- 400 -- a flat surface -- typical -- being shown -- drawing 7 -- drawing 6 -- being shown -- a monolithic -- a carrier -- a light emitting device -- 400 -- B-B -- ' -- a line -- having met -- a cross section -- typical -- being shown -- drawing 8 -- drawing 6 -- being shown -- a monolithic -- a carrier -- a light emitting device -- 400 --

[0060] The monolithic carrier light emitting device 400 has photodiode formation field 400FD which can detect the light of four different wavelength, and surface emission-type laser formation field 400SL.

[0061] (Photodiode) Photodiode 400B formed in photodiode formation field 400FD As shown in drawing 7, on the high resistance semiconductor substrate 401 which consists of GaAs p type contact layer 402B (p1) which consists of p type GaAs, 1st optical-absorption layer 403B (i1) which consists of i mold Al_{0.5}Ga_{0.5}As, n type contact layer 404B which consists of n mold Al_{0.5}Ga_{0.5}As (n1), Optical-absorption layer 405 of ** 2nd which consists of i mold Al_{0.5}Ga_{0.5}As B (i2), p type contact layer 406B which consists of p mold Al_{0.5}Ga_{0.5}As (p2), half--- insulating-layer 407B (SI) which consists of insulating Al_{0.5}Ga_{0.5}As, and p type -- p type contact layer 408B (p3) which consists of Al_{0.5}Ga_{0.5}As -- 3rd optical-absorption layer 409B (i3) which consists of i mold Al_{0.5}Ga_{0.5}As, n type -- n type contact layer 410B (n2) which consists of Al_{0.5}Ga_{0.5}As, and i type -- 4th optical-absorption layer 411B (i4) which consists of Al_{0.5}Ga_{0.5}As, and p type -- the laminating of the p type contact layer 412B (p4) which consists of Al_{0.5}Ga_{0.5}As is carried out one by one And the step is formed, respectively so that a part of each contact layers 402B, 404B, 406B, 408B, and 410B may be exposed. In drawing 7, Step S formed in the upper surface of contact layer 406B is shown.

[0062] Moreover, the dielectric film 413 which consists of a silicon oxide, a silicon nitride, etc. is formed in the circumference of the deposition object which consists of two or more semiconductor layers formed on the semiconductor substrate 401. The soffit of this dielectric film 413 is formed so that the semiconductor substrate 401 may be reached. Moreover, in light sensing portion 420B of the upper surface of p type contact layer 412B, since a dielectric film 413 constitutes plane of incidence, it is optically transparent at least.

[0063] Furthermore, insulating pad layer 414B is formed in the circumference of the deposition object which consists of two or more semiconductor layers formed on the semiconductor substrate 401 through

the dielectric film 413. A silicon oxide, a silicon nitride, a silicon carbonization film, etc. can be used for this pad layer 414B other than heat resistant resins, such as a polyimide.

[0064] Furthermore, as shown in drawing 6, ohmic electrode 415Ba-415Bf connected to each contact layers 402B, 404B, 406B, 408B, 410B, and 412B is formed in the upper surface of the dielectric film 413 to expose and pad layer 414B by the predetermined pattern. each ohmic electrode 415 -- Ba, 415Bb, 415Bc, 415Be, and 415Bf(s) are electrically connected with each contact layers 402B, 404B, 406B, 408B, and 410B exposed in a step through the conductive layer in the contact hole formed in pad layer 414B (only 416Bc is illustrated), as shown in drawing 7 Moreover, ohmic electrode 415Bd is electrically connected with contact layer 412B through conductive-layer 416Bd in the contact hole formed in the dielectric film 413.

[0065] The 1st pin mold photodiode 400B-1 is constituted by p type contact layer 402B, 1st optical-absorption layer 403B, and n type contact layer 404B. The 2nd pin mold photodiode 400B-2 is constituted by n type contact layer 404B, 2nd optical-absorption layer 405B, and p type contact layer 406B. The 3rd pin mold photodiode 400B-3 is constituted by p type contact layer 408B, 3rd optical-absorption layer 409B, and n type contact layer 410B. And the 4th pin mold photodiode 400B-4 is constituted by n type contact layer 410B, 4th optical-absorption layer 411B, and p type contact layer 412B.

[0066] Here p type contact layer 402B, 1st optical-absorption layer 403B, n type contact layer 404B, 2nd optical-absorption layer 405B, p type contact layer 406B, insulating-layer 407B, There is a relation to the composition rate of aluminum of each class of p type contact layer 408B, 3rd optical-absorption layer 409B, n type contact layer 410B, 4th optical-absorption layer 411B, and p type contact layer 412B called $a < c < g < i < j$, $c \leq b$, $g \leq f \leq e \leq d$, and $i \leq h$.

[0067] That is, if wavelength equivalent to the energy of the bandwidth of each semiconductor layers 403B-412B is made into λ_{ga} - λ_{gj} , respectively as shown in drawing 7, a relation called $\lambda_{gj} < \lambda_{gi} < \lambda_{gg} < \lambda_{gc} < \lambda_{ga}$, $\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$, $\lambda_{gd} \leq \lambda_{ge} \leq \lambda_{gf} \leq \lambda_{gg}$, and $\lambda_{gh} \leq \lambda_{gi}$ will be materialized.

[0068] The transparency principle of light is the same as that of the form 1 of operation mentioned above. The light of the wavelength specifically shorter than wavelength λ_{dgi} among the light which carries out incidence from light sensing portion 420B is mostly absorbed by 4th optical-absorption layer 411B. Rather than wavelength λ_{dgi} , it is long wavelength, and the light of short wavelength penetrates 4th optical-absorption layer 411B rather than λ_{dgg} , and it is absorbed by 3rd optical-absorption layer 409B. furthermore, wavelength λ_{dagg} -- a long wave -- merit -- and the light of wavelength shorter than wavelength λ_{dgc} penetrates 4th optical-absorption layer 411B and 3rd optical-absorption layer 409B, and is mostly absorbed by 2nd optical-absorption layer 405B wavelength λ_{dgc} -- a long wave -- merit -- and the light of wavelength shorter than λ_{dga} penetrates 4th optical-absorption layer 411B, 3rd optical-absorption layer 409B, and 2nd optical-absorption layer 405B, and is absorbed by 1st optical-absorption layer 403B

[0069] Moreover, decline in the quantum efficiency by surface recombination is prevented by considering as $\lambda_{gj} < \lambda_{gi}$ and giving the function as a window layer to p type contact layer 412B. Furthermore, because the light which penetrated 4th optical-absorption layer 411B penetrated without being absorbed by n type contact layer 410B and was efficiently absorbed by 3rd optical-absorption layer 409B, it considered as $\lambda_{gh} \leq \lambda_{gi}$. It depends on the same reason [having also considered as $\lambda_{gd} \leq \lambda_{ge} \leq \lambda_{gf} \leq \lambda_{gg}$ and $\lambda_{gb} \leq \lambda_{gc}$].

[0070] Common connection of the 1st photodiode 400B-1 and the 2nd photodiode 400B-2 is made with a cathode at n type ohmic electrode, and, as for photodiode 400B concerning the form of this operation, common connection of the 3rd photodiode 400B-3 and the 4th photodiode 400B-4 is made with the cathode at n type ohmic electrode. and 2 sets of photodiodes of the upper and lower sides separated by insulating-layer 407B in photodiode 400B, i.e., a pin type, -- the combination of photodiode 400B-1 and 400B-2, and a pin type -- in the combination of photodiode 400B-3 and 400B-4, since the sequence of the pin structure of each combination is the same, it has the advantage which can impress the same polar reverse bias to all pin type photodiodes

[0071] Thus, according to photodiode 400B, optical-current conversion of the light of different 4 wavelength can be carried out, respectively by four pin mold photodiode 400B-1-400B-4 formed in the same substrate. And what is necessary is just to choose the wavelength of the light source so that it may be set to $\lambda_{gj} < \lambda_4 \leq \lambda_{dgi}$, $\lambda_{gi} < \lambda_3 \leq \lambda_{dagg}$, $\lambda_{gg} < \lambda_2 \leq \lambda_{dagg}$, and $\lambda_{gc} < \lambda_1 \leq \lambda_{daga}$ when performing wavelength division multiplex optical communication with the light of wavelength λ_{d1} , λ_{d2} , λ_{d3} , and λ_{d4} ($\lambda_{d4} < \lambda_{d3} < \lambda_{d2} < \lambda_{d1}$).

[0072] With the gestalt of this operation, in composition of a semiconductor layer, when referred to as $a=0$, $b=c=0.042$, $d=e=f=g=0.085$, $h=i=0.133$, and $j=0.184$, it checked that it was $\lambda_{dga} \approx 870$ nm, $\lambda_{dgb} = \lambda_{gc} \approx 840$ nm, $\lambda_{dgd} = \lambda_{ge} = \lambda_{gf} = \lambda_{gg} \approx 810$ nm, $\lambda_{dgh} = \lambda_{gi} \approx 780$ nm, $\lambda_{dgi} \approx 750$ nm. Therefore, four waves of such light is detectable with single photodiode 400B by setting up the wavelength λ_{d1} - λ_{d4} of 4 light sources which perform wavelength division multiplying with $\lambda_{d1}=870$ nm, $\lambda_{d2}=840$ nm, $\lambda_{d3}=810$ nm, and $\lambda_{d4}=780$ nm so that the above-mentioned formula may be filled.

[0073] (Surface emission-type laser) As shown in surface emission-type laser formation field 400SL at drawing 8, surface emission-type laser VCSEL is formed on the deposition object of the semiconductor layer formed at the same membrane formation process as the semiconductor layers 402B-412B of photodiode formation field 400FD mentioned above.

[0074] namely, by surface emission-type laser formation field 400SL On the high resistance semiconductor substrate 401, p type contact layer 402A, 1st optical-absorption layer 403A, n type contact layer 404A, 2nd optical-absorption layer 405A, p type contact layer 406A, insulating-layer 407A, p type contact layer 408A, 3rd optical-absorption layer 409A, n type contact layer 410A, 4th optical-absorption layer 411A, and p type contact layer 412A are formed. In drawing 8, illustration of the semiconductor layers 403A-407A is omitted.

[0075] Furthermore, perpendicular resonator type surface emission-type laser VCSEL is formed above p type contact layer 412A. Surface emission-type laser VCSEL can carry out outgoing radiation of the laser beam of wavelength λ_4 ($=780$ nm), for example, has the following layer structures.

[0076] p type contact layer 412A which surface emission-type laser VCSEL becomes from p mold aluminum_{0.15}Ga_{0.85}As, 30 pair laminating of p mold aluminum_{0.15}Ga_{0.85}As and the p mold aluminum_{0.85}Ga_{0.15}As is carried out by turns. It consists of p type distribution reflection type multilayer mirror (DBR mirror) 407 which has 99.5% or more of reflection factor to the light of the wavelength of the wavelength λ_{d4} neighborhood, p type clad layer 408 which consists of p mold aluminum_{0.5}Ga_{0.5}As, an aluminum_{0.3}Ga_{0.7}As barrier layer, and a GaAs quantum well layer. 20 pair laminating of the barrier layer 409 of the multiplex quantum well structure where a quantum well layer consists of five layers, n type clad layer 410 which it becomes from n mold aluminum_{0.5}Ga_{0.5}As, the n type AlAs layer 411, n mold aluminum_{0.15}Ga_{0.85}As, and the n mold aluminum_{0.85}Ga_{0.15}As is carried out by turns. The n type DBR mirror 412 which has 98.5 - 99% of reflection factor to the light of the wavelength of the wavelength λ_{d4} neighborhood, and n type contact layer 413** which consists of n mold aluminum_{0.15}Ga_{0.85}As are formed of epitaxial growth one by one. Moreover, the current narrow segment 419 for raising the inrush current density near an emission center is formed in the n type AlAs layer 411 of selective oxidation. And the step is formed, respectively so that a part of n type contact layer 410A and p type contact layer 412A may be exposed.

[0077] Moreover, the dielectric film 413 is formed in the circumference of the deposition object which consists of two or more semiconductor layers formed on the semiconductor substrate 401. This dielectric film 413 is removed in the portion of outgoing radiation mouth 420A of surface emission-type laser VCSEL. Furthermore, insulating embedding layer 414A is formed in the circumference of the deposition object which consists of two or more semiconductor layers through the dielectric film 413. The same matter as embedding layer 414B formed by photodiode formation field 400FD can be used for this embedding layer 414A.

[0078] Furthermore, ohmic electrode 415Aa is formed in the circumference of outgoing radiation mouth 420A of surface emission-type laser VCSEL. Moreover, as shown in drawing 6, ohmic electrode 415Ab

connected to n type contact layer 410A and p type contact layer 412A and 415Ac(s) are formed in the upper surface of embedding layer 414A by the predetermined pattern. each ohmic electrode 415 -- Ab and 415Ac(s) are electrically connected with the contact layers 410A and 412A exposed in a step through conductive-layer 416Ab in the contact hole formed in embedding layer 414A, and 416Ac(s), as shown in drawing 8

[0079] In this surface emission-type laser formation field 400SL, pin mold photodiode 400A-4 which consist of n type contact layer 410A, the 4th optical-absorption layer 411A, and p type contact layer 412A are formed in the bottom of surface emission-type laser VCSEL, and the monitor of the outgoing radiation quantity of light of surface emission-type laser VCSEL can be carried out by these pin mold photodiode 400A-4.

[0080] (Manufacturing process of a device) Next, an example of the manufacturing process of the monolithic carrier light emitting device 400 shown in drawing 6 - drawing 8 is explained.

[0081] (a) Have first the composition shown on the high resistance semiconductor substrate 401 at drawing 7. p type contact layer 402B, 1st optical-absorption layer 403B, n type contact layer 404B, 2nd optical-absorption layer 405B, p type contact layer 406B, insulating-layer 407B, p type contact layer 408B, 3rd optical-absorption layer 409B, n type contact layer 410B, 4th optical-absorption layer 411B, and p type contact layer 412B are grown epitaxially one by one. Simultaneously with formation of each above-mentioned semiconductor layers 402B-412B of photodiode formation field 400FD, at this membrane formation process, each semiconductor layers 402A-412A of surface emission-type laser formation field 400SL are formed. At this membrane formation process, the same epitaxial grown method as the form 1 of operation can be used.

[0082] (b) Next, form the dielectric film which consists of an about 25nm silicon oxide on an epitaxial growth phase by ordinary-pressure heat CVD like the form 1 of operation. This dielectric film has protected the surface contamination in the inside of the process of an epitaxial growth phase.

[0083] Next, the pillar-shaped section is formed by masking photodiode formation field 400FD by the photoresist, and repeating formation of a mask, and the process of etching in surface emission-type laser formation field 400SL further.

[0084] Next, surface emission-type laser formation field 400SL is masked. And in the photodiode formation field FD, it *****s in a part of epitaxial growth phase, and a step is formed until p type contact layer 402B is exposed by using a photoresist as a mask. Similarly an epitaxial growth phase is *****ed by using a photoresist as a mask, and a step is formed in the upper surface of each contact layers 402B, 404B, 406B, 408B, and 410B. It contact layer 406B Accepts and illustrates in drawing 7. Especially the flat-surface configuration of these steps is not limited, but just secures the contact field of ohmic electrode 415Ba-415Bc, 415Be and 415Bf(s), and the contact layers 402B, 404B, 406B, 408B, and 410B.

[0085] Furthermore, the separation slot for separating photodiode formation field 400FD and surface emission-type laser formation field 400SL is formed by etching. Moreover, especially the sequence that forms these steps and a separation slot is not limited.

[0086] (c) Next, form the dielectric film 413 which becomes an etching cross section from a silicon oxide an epitaxial growth phase top by ordinary-pressure heat CVD after removing a photoresist and processing the etching cross section by the ammonium sulfide etc. like the form 1 of operation. And the dielectric film 413 in light sensing portion 420B sets up the thickness so that it may increase about 1 of four waves of averages of the light which optical thickness uses as the light source / 4 times so that it may serve both as a protective coat and an antireflection film.

[0087] (d) Next, form insulating layers, such as a possible heat resistant resin of photolithographies, such as a polyimide, or a silicon oxide, and a silicon nitride, in the circumference of an epitaxial growth phase through a dielectric film 413, and form pad layer 414B in it. In the case of a heat resistant resin, although especially the formation method of pad layer 414B is not limited, it can form by the method of a spin coat etc., and when it is a silicon oxide, it can form by the spin-on glass method.

[0088] (e) Next, as shown in drawing 6 and drawing 7, in photodiode formation field 400FD, embed according to the process containing the photolithography generally used in the contact hole for

connecting an ohmic electrode and a contact layer, and form in layer 414B. Moreover, a contact hole is formed also in a part for the outcrop of a dielectric film 413. Subsequently, ohmic electrode 415Ba-415Bf electrically connected with each contact layers 402B, 404B, 406B, 408B, 410B, and 412B is formed by forming and carrying out patterning of the back electrode layer which embedded the conductive layer in each contact hole.

[0089] Moreover, as shown in drawing 6 and drawing 8, by surface emission-type laser formation field 400SL, it embeds according to the process containing the photolithography generally used in the contact hole for connecting an ohmic electrode and a contact layer, and forms in layer 414A. Subsequently, ohmic electrode 415Ab electrically connected with each contact layers 410A and 412A and 415Ac(s) are formed by forming and carrying out patterning of the back electrode layer which embedded the conductive layer in each contact hole. Furthermore, ohmic electrode 415Aa is formed in the circumference of outgoing radiation mouth 420A.

[0090] With the form of this operation, n type contact layer 404B is used in photodiode formation field 400FD as a common contact layer of the 1st and 2nd pin type photodiodes. Moreover, n type contact layer 410B is used as a common contact layer of the 3rd and 4th pin type photodiodes. however, the time of four pin type photodiodes wanting to operate independently -- for example, the middle of n type contact layer 404 -- half-- the middle of the insulating layer which consists of insulating aluminum_{0.042}Ga_{0.958}As, and n type contact layer 410 -- half-- the insulating layer which consists of insulating aluminum_{0.133}Ga_{0.867}As may be inserted, respectively, and n type contact electrode may be formed in n type contact layer of the upper and lower sides of these insulating layers, respectively The same is said of the pin type photodiode formed in surface emission-type laser formation field 400SL.

[0091] (Operation of a device) Fundamental operation of the monolithic carrier light emitting device 400 concerning the form of this operation is the same as that of the form 1 of operation.

[0092] That is, the monolithic carrier light emitting device 400 of the form of this operation has surface emission-type laser VCSEL and photodiode 400B. And photodiode 400B has the 1st, the 2nd, the 3rd, the 4th pin mold photodiode 400B-1, 400B-2, 400B-3, and 400B-4, and can detect the light of four different wavelength with a single element. moreover, the 1st, the 2nd, the 3rd, and 4th pin types mentioned above in the lower part of surface emission-type laser VCSEL -- the four same pin types as photodiode 400B-1-400B-4 -- the outgoing radiation quantity of light of surface emission-type laser VCSEL since it has photodiode 400A-1-400A-4 -- a pin type -- a monitor can be carried out by either of photodiode 400A-1-400A-4 For example, when the oscillation wavelength of surface emission-type laser VCSEL is λ_4 , the 4th pin mold photodiode 400A-4 can detect the outgoing radiation quantity of light.

[0093] According to the monolithic carrier light emitting device 400 concerning the form of this operation, in order to use a perpendicular resonator type surface emission-type laser as the light source, it is easy to make each element approach and to arrange two-dimensional. Furthermore, to a semiconductor substrate, since it is perpendicular, a perpendicular resonator type surface emission-type laser has monolithic-izing easy for the direction of outgoing radiation of a laser beam with a photodiode. Furthermore, with the form of this operation, the monitor of the quantity of light of a laser beam can be carried out by the photodiode which is directly under a surface emission-type laser by having the structure which piled up the perpendicular resonator type surface emission-type laser on the photodiode. Consequently, APC (Auto Power Control) of a perpendicular resonator type surface emission-type laser is possible by very easy composition.

[0094] (Other device structures) Although the form of operation mentioned above described the monolithic carrier light emitting device containing the photodiode which carried out the laminating of two and the four pin type photodiodes, the laminating not only of these but three or the five pin type photodiodes or more can also be carried out.

[0095] For example, in the photodiode which has three pin type photodiodes, it is the monolithic carrier light emitting device 400 concerning the form 2 of operation shown in drawing 6 - drawing 8, and the structure where it does not have the 1st pin mold photodiode 400B-1 or 4th pin mold photodiode 400B-4 etc. can be adopted.

[0096] Moreover, since each pin type photodiode is driven independently, it is good also as composition which inserts an insulating layer between each pin type photodiode.

[0097] In the photodiode of the monolithic carrier light emitting device concerning this invention, in the form of operation mentioned above, p type and n type in each class can be replaced, and the photodiode which made polarity reverse can also be constituted. Moreover, with the form of operation mentioned above, although the photodiode of an AlGaAs system was described, it is applicable also about the photodiode which consists of semiconductors, such as the other-materials system, for example, a GaInP system, a ZnSSe system, and an InGaN system.

[0098] (Gestalt 3 of operation)

(Optical transmission system) An example of the optical transmission system in which the bidirectional wavelength division multiplex optical communication using the monolithic carrier light emitting device which starts this invention at drawing 9 is possible is shown. This optical transmission system has the carrier light emitting devices 10 and 30 and the optical fiber 20 prepared among these carrier light emitting devices 10 and 30.

[0099] An example of the carrier light emitting devices 10 and 30 used for the bidirectional wavelength division multiplex optical communication which used two waves for drawing 10 is shown. This carrier light emitting device 10 (30) approaches, arranges two monolithic carrier light emitting devices 200-1 concerning the gestalt 1 of operation, and 200-2 in the same package, and is constituted. One monolithic carrier light emitting device 200-1 has the surface emission-type laser VCSEL1 which carries out outgoing radiation of the light of wavelength λ_1 , and photodiode 200B which can detect two light of wavelength λ_1 and λ_2 . Moreover, the monolithic carrier light emitting device 200-2 of another side has the surface emission-type laser VCSEL2 which carries out outgoing radiation of the light of wavelength λ_2 , and photodiode 200B which can detect the light of wavelength λ_1 and λ_2 .

[0100] Alignment of the outgoing radiation mouth of each surface emission-type lasers VCSEL1 and VCSEL2 and the light-receiving side of each photodiode 200B is optically carried out to the core section 22 of an optical fiber 20, and these carrier light emitting devices 10 and 30 are combined. According to this optical transmission system, the bidirectional wavelength division multiplex optical communication using the light which has two different wavelength λ_1 and λ_2 becomes possible.

[0101] Moreover, as an optical fiber 20, the big plastics fiber of a core diameter can be used preferably, for example, HPCF (Hard Polymer Clad Fiber) of a GI (GradedIndex) type fluorine system plastics fiber or GI type with small **** of light and distribution is desirable.

[0102] According to the optical transmission system concerning the form of this operation, the bidirectional wavelength division multiplex optical transmission system of simple composition of consisting of three persons of the 1st carrier light emitting device 10, an optical fiber 20, and the 2nd carrier light emitting device 30 can be constituted by using the surface emission-type laser which has one oscillation wavelength, and the carrier light emitting device which combined two monolithic carrier light emitting devices which have a photodiode detectable with a single element for the light of the wavelength of plurality (two). And like this conventional kind of optical transmission system, since optics, such as a splitter, are not needed, the optical transmission system concerning the form of this operation has simple composition, and optical adjustment is easy and can constitute the optical transmission system in which low cost bidirectional wavelength division multiplex transmission is possible.

[0103] (Form 4 of operation)

(Optical transmission system) Other examples of the optical transmission system in which the bidirectional wavelength division multiplex optical communication using the monolithic carrier light emitting device concerning this invention is possible are shown. This optical transmission system consists of carrier light emitting devices 40 and 50 and an optical fiber 20 like the form 3 of operation, as shown in drawing 9.

[0104] The planar structure of the carrier light emitting devices 40 and 50 used for drawing 11 with the form of this operation is shown roughly. This carrier light emitting device 40 (50) consists of a

monolithic carrier light emitting device 400 concerning the form 2 of operation, and three light emitting devices 500A, 500B, and 500C containing a surface emission-type laser. Namely, as for the carrier light emitting device 40 (50), light emitting devices 500A-500C are mounted on the monolithic carrier light emitting device 400.

[0105] Light emitting devices 500A-500C have the surface emission-type lasers VCSEL1, VCSEL2, and VCSEL3 which carry out outgoing radiation of the light of wavelength (λ_1 , λ_2 , and λ_3) different, respectively.

[0106] An example of these light emitting devices is shown in drawing 12. Drawing 12 is drawing showing typically the cross section which met the C-C' line of drawing 11. As for light-emitting-device 500A shown in drawing 12, n type contact layer 502, the optical-absorption layer 503, and p type contact layer 504 are formed on the high resistance semiconductor substrate 501. Furthermore, the perpendicular resonator type surface emission-type laser VCSEL1 is formed above p type contact layer 504. A surface emission-type laser VCSEL1 can carry out outgoing radiation of the laser beam of wavelength λ_1 , for example, has the following layer structures.

[0107] As for the surface emission-type laser VCSEL1, p type contact layer 504, the p type DBR mirror 507, p type clad layer 508, the barrier layer 509 of multiplex quantum well structure, n type clad layer 510, the n type AlAs layer 511, the n type DBR mirror 512, and n type contact layer 513** are formed of epitaxial growth one by one. Moreover, the current narrow segment 519 for raising the inrush current density near an emission center is formed in the n type AlAs layer 511 of selective oxidation. And the step is formed, respectively so that a part of n type contact layer 502 and p type contact layer 504 may be exposed.

[0108] Moreover, the dielectric film 513 is formed in the circumference of the deposition object which consists of two or more semiconductor layers formed on the semiconductor substrate 501. This dielectric film 513 is removed in the portion of the outgoing radiation mouth 520 of a surface emission-type laser VCSEL1. Furthermore, the insulating embedding layer 514 is formed in the circumference of the deposition object which consists of two or more semiconductor layers through the dielectric film 513.

[0109] Furthermore, ohmic electrode 515a is formed in the circumference of the outgoing radiation mouth 520 of a surface emission-type laser VCSEL1. Moreover, as shown in drawing 11, the ohmic electrodes 515b and 515c connected to n type contact layer 502 and p type contact layer 504 are formed in the upper surface of the embedding layer 514 by the predetermined pattern. Each ohmic electrodes 515b and 515c are electrically connected with the contact layers 502 and 504 exposed in a step through the conductive layer in the contact hole formed in the embedding layer 514, as shown in drawing 12.

[0110] The pin type photodiode 500-1 which consists of n type contact layer 502, an optical-absorption layer 503, and a p type contact layer 504 is formed in the bottom of this surface emission-type laser VCSEL1, and the monitor of the outgoing radiation quantity of light of a surface emission-type laser VCSEL1 can be carried out by this pin type photodiode 500-1.

[0111] Thus, the carrier light emitting devices 40 and 50 concerning the form of this operation By surface emission-type laser VCSEL which carries out outgoing radiation of the light of the wavelength λ_4 of the monolithic carrier light emitting device 400, and three light emitting devices 500A-500C, respectively Outgoing radiation of the light of four different wavelength (λ_1 , λ_2 , λ_3 , and λ_4) can be carried out, and single photodiode 400B of the monolithic carrier light emitting device 400 can detect the light of such wavelength λ_1 , λ_2 , λ_3 , and λ_4 .

[0112] And alignment of each outgoing radiation mouth of surface emission-type laser VCSEL of each surface emission-type lasers VCSEL1-VCSEL3 and the monolithic carrier light emitting device 400 and the light-receiving side of photodiode 400B is optically carried out to the core section 22 of an optical fiber 20, and these carrier light emitting devices 40 and 50 are combined. According to this optical transmission system, the bidirectional wavelength division multiplex optical communication using the light which has four different wavelength λ_1 , λ_2 , λ_3 , and λ_4 becomes possible.

[0113] According to the optical transmission system concerning the gestalt of this operation, the wavelength division multiplex optical transmission system of simple composition of consisting of three persons of the 1st carrier light emitting device 40, an optical fiber 20, and the 2nd carrier light emitting

device 50 can be constituted by using the carrier light emitting device which combined three light emitting devices which have a surface emission-type laser, and the monolithic carrier light emitting device which has a photodiode detectable with a single element for the light of the wavelength of one surface emission-type laser and plurality (four). And like this conventional kind of optical transmission system, since optics, such as a splitter, are not needed, the optical transmission system concerning the gestalt of this operation has simple composition, and optical adjustment is easy and can constitute the optical transmission system in which low cost bidirectional wavelength division multiplex transmission is possible.

[0114]

[Translation done.]